

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale ex D. Lgs 152/2006

PROGETTO DEFINITIVO E STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

HUB ENERGETICO **AGNES ROMAGNA 1&2** UBICATO NEL TRATTO DI MARE ANTISTANTE LA COSTA EMILIANO-ROMAGNOLA E NEL COMUNE DI RAVENNA

Titolo:

RELAZIONE TECNICA SULLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DELLE EMISSIONI EMF SU FAUNA MARINA

Codice identificativo:

AGNROM_SIA-R_REL-EMF-FAUNA

Proponente:



Agnes S.r.l.
P. IVA: 02637320397

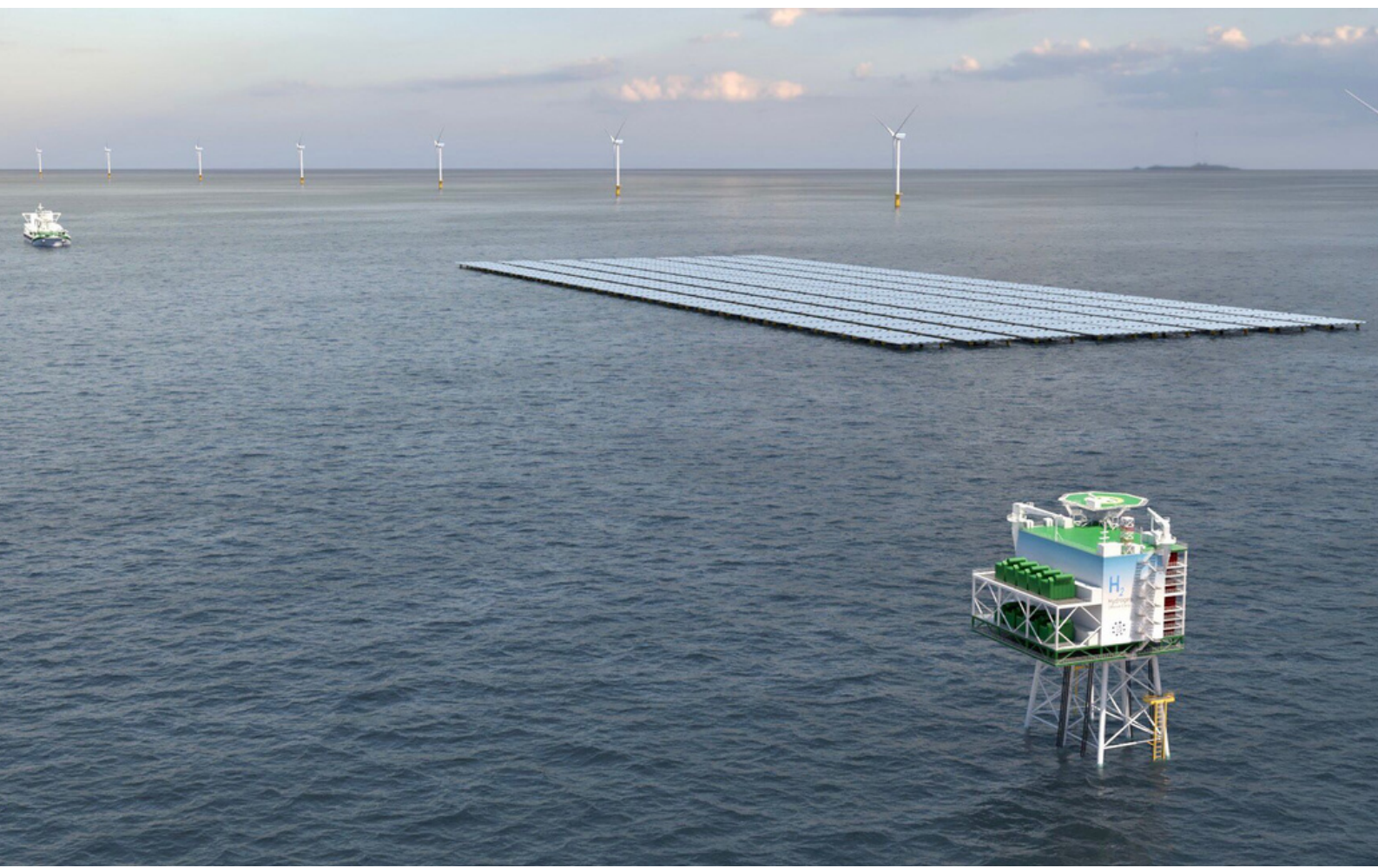


Autore del documento:



GOLDER

WSP Italia S.r.l.
P. IVA: 3674811011



DETTAGLI DEL DOCUMENTO

Titolo documento	Relazione tecnica sulla valutazione degli impatti delle emissioni EMF su fauna marina
Codice documento	AGNROM_SIA-R_REL-EMF-FAUNA
Titolo progetto	Hub energetico Agnes Romagna 1&2
Codice progetto	AGNROM
Data	30/01/2023
Versione	1.0
Autore/i	F. Tarquinio; O. Moretti
Tipologia elaborato	Relazione
Cartella	VIA_3
Sezione	Studio d'Impatto Ambientale
Formato	A4

VERSIONI

1.0	00	F. Tarquinio; O. Moretti	G. Torchia	AGNES	Emissione finale
Ver.	Rev.	Redazione	Controllo	Emissione	Commenti

FIRME DIGITALI



Agnes S.r.l.

Via Del Fringuello 28, 48124 Ravenna (IT)

Questo documento è di proprietà di Agnes S.r.l.
Qualunque riproduzione, anche parziale, è vietata senza la sua preventiva autorizzazione.
Ogni violazione sarà perseguita a termini di legge.



Sommario

1. INTRODUZIONE	4
1.1 SCOPO DEL DOCUMENTO	5
2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO	6
2.1 FILOSOFIA DI PROGETTAZIONE	6
2.2 UBICAZIONE GEOGRAFICA E LAYOUT	7
2.2.1 AREA MARINA	7
2.2.2 AREA TERRESTRE	8
2.3 SINTESI DELLE OPERE PREVISTE	10
3. CAMPI ELETTROMAGNETICI	13
3.1 DEFINIZIONE	13
3.2 CARATTERISTICHE DEI CAVI SOTTOMARINI E DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI PRODOTTI	13
3.3 CARATTERISTICHE DEI CAVI DEL PROGETTO	17
4. EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI SULLA FAUNA MARINA	19
4.1 INVERTEBRATI	19
4.2 ELASMOBRANCHI	20
4.3 ALTRI PESCI	22
4.3.1 ROTTE MIGRATORIE	23
4.4 TARTARUGHE MARINE	24
4.5 CETACEI	25
5. CARATTERIZZAZIONE DELLA FAUNA MARINA NELL'AREA DI PROGETTO	27
6. IMPATTI POTENZIALI E MISURE DI MITIGAZIONE	30
7. CONCLUSIONI	33
BIBLIOGRAFIA	35



Indice delle figure

FIGURA 1: SCHEMA STILIZZATO DELL'HUB ENERGETICO ROMAGNA 1&2.....	6
FIGURA 2: UBICAZIONE E LAYOUT DEL PROGETTO A MARE RISPETTO AI LIMITI AMMINISTRATIVI	8
FIGURA 3: AREA TERRESTRE INTERESSATA DAL PROGETTO	9
FIGURA 4: MEDIA E INTERVALLO DI INTENSITÀ DEL CAMPO MAGNETICO SULLA SUPERFICIE DEL FONDO MARINO CALCOLATO PER 10 CAVI A CORRENTE ALTERNATA (FONTE: TRICAS & GILL, 2011).	15
FIGURA 5: MEDIA E INTERVALLO DI INTENSITÀ DEL CAMPO MAGNETICO SULLA SUPERFICIE DEL FONDO MARINO CALCOLATO PER 9 CAVI A CORRENTE CONTINUA (FONTE: TRICAS & GILL, 2011).	16
FIGURA 6: STRUTTURA GENERALE DEI CAVI DA 66 kV	18
FIGURA 7: STRUTTURA GENERALE DEI CAVI DA 220 kV	18

Indice delle tabelle

TABELLA 1: VALORI MEDI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI (μ T) GENERATI DALLA CORRENTE ALTERNATA AD INTERVALLI ORIZZONTALI E VERTICALI LUNGO IL FONDALE MARINO CON IL CAVO SEPOLTO DI 1 M.	16
TABELLA 2: VALORI MEDI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI (μ T) GENERATI DALLA CORRENTE CONTINUA AD INTERVALLI ORIZZONTALI E VERTICALI LUNGO IL FONDALE MARINO CON IL CAVO SEPOLTO DI 1 M.	17
TABELLA 3: SPECIE INDICATE COME PRESENTI NELL'AREA DI SITO IN LETTERATURA E SPECIE RINVENUTE DURANTE LA CAMPAGNA DI PESCA A STRASCICO.	28



ACRONIMI

AC	Corrente Alternata
DC	Corrente Continua
MW	Megawatt
MWp	Megawatt Peak
MWh	Megawattora
E	Campo elettrico
H	Campo magnetico
V	Volt
kV	Kilovolt
V/m	Volt per metro
nV/cm	Nanovolt per centimetro
A/m	Ampere per metro
Hz	Hertz
T	Tesla
mT	Millitesla (=1.0×10 ⁻³ Tesla)
μT	Microtesla (=1.0×10 ⁻⁶ Tesla)
μT/sec	Microtesla per secondo
SFBC	Biocenosi delle sabbie fini ben calibrate
VTC	Biocenosi dei fanghi terrigeni costieri



1. INTRODUZIONE

Il Progetto Romagna 1&2 è relativo alla installazione e messa in esercizio di un hub energetico localizzato in parte in acque internazionali antistanti la costa emiliano-romagnola e in parte nell'area del Comune di Ravenna. Agnes S.r.l. è la società ideatrice e proponente del progetto, con sede a Ravenna (RA).

L'hub presenta caratteristiche altamente innovative, in primis l'integrazione di impianti a mare di produzione di energia da fonte solare ed eolica, la cui elettricità viene trasmessa a terra per tre diverse finalità tra loro non mutualmente esclusive:

1. immissione nella Rete di Trasmissione Nazionale;
2. stoccaggio in sistemi di immagazzinamento con batterie agli ioni di litio;
3. produzione di idrogeno verde per mezzo del processo di elettrolisi.

Agnes S.r.l., nell'espletamento dei servizi sopra indicati, intende perseguire i seguenti obiettivi generali:

- assicurare che il servizio sia erogato con carattere di sicurezza, affidabilità e continuità nel breve, medio e lungo periodo, nel rispetto degli atti di indirizzo emanati dai Ministeri e delle direttive impartite dall'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas;
- concorrere a promuovere, nell'ambito delle sue competenze e responsabilità, la tutela dell'ambiente e la sicurezza degli impianti.

Le opere del Progetto sono nello specifico:

- un impianto eolico off-shore composto da 25 aerogeneratori da 8 MWp cadauno, per una capacità complessiva di 200 MWp ("Romagna 1");
- un impianto eolico off-shore composto da 50 aerogeneratori da 8 MWp cadauno, per una capacità complessiva di 400 MWp ("Romagna 2");
- un impianto fotovoltaico da 100 MWp di tipologia galleggiante;

ed opere di connessione costituite da:

- due stazioni elettriche di trasformazione 66/220 kV offshore;
 - una stazione elettrica di trasformazione 380/220/30/0,4 kV onshore (SSE Agnes Ravenna Porto) con opere connesse tra cui un impianto di accumulo di energia di potenza fino a 50 MWp ed un impianto di produzione idrogeno per mezzo di elettrolizzatori;
 - elettrodotti marini di inter-array da 66 kV ed export da 220kV, una buca giunti terra-mare per cavi export da 220 kV, cavi export terrestri a 220 kV per la trasmissione dell'energia generata dagli impianti eolici e fotovoltaico alla SSE Agnes Ravenna Porto e da questa, mediante cavi export terrestri a 380 kV alla Stazione Elettrica Terna "La Canala", individuata come punto di connessione alla RTN.
-



La società proponente ha iniziato a svolgere analisi di fattibilità tecnico-economiche dal 2017 e da allora sono stati compiuti notevoli sforzi di progettazione per gestire le complessità dettate dalle innovazioni tecnologiche proprie degli impianti e maturare le scelte tecniche in base alle esigenze e gli input degli *stakeholder*.

Nel gennaio del 2021 Agnes ha avviato ufficialmente l'iter di autorizzazione del Progetto, ai sensi dell'art. 12 del D.lgs 387/2003 e secondo quanto disposto dalla circolare n. 40/2012 del MIT. È stata superata con esito positivo la prima fase del complesso iter, ovvero l'istruttoria di Concessione Demaniale Marittima ai sensi dell'art. 36 del Codice Della Navigazione, in cui hanno espresso parere circa 30 enti, nessuno dei quali è risultato negativo o ostativo.

La società ha quindi proceduto con l'avanzamento dell'istanza di Valutazione di Impatto Ambientale (D. Lgs 152/2006), basata sullo Studio d'Impatto Ambientale e del Progetto con livello di approfondimento Definitivo, dei quali questo documento risulta parte.

1.1 Scopo del documento

Scopo del presente documento è l'analisi dei potenziali impatti originati dall'utilizzo di cavi sommersi, con particolare attenzione agli effetti dovuti alla generazione di campi elettromagnetici sulla fauna marina nel Progetto Agnes Romagna 1&2.

Sebbene i cavi elettrici sottomarini siano stati impiegati già a partire dalla prima metà del 1800, solo di recente si sono prese in considerazione le possibili conseguenze del loro utilizzo, tra cui la perdita o il danneggiamento di habitat, l'emissione di rumore, di inquinanti chimici, di calore e di campi elettromagnetici (Taormina *et al.*, 2018).



2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

2.1 Filosofia di progettazione

L'hub energetico di Agnes Romagna 1&2 è composto da più sistemi integrati l'uno con l'altro per garantire la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili e idrogeno verde, con l'annessione di sistemi per stoccaggio di elettricità a batterie. La sua unicità non è relativa solo alle singole tecnologie, certamente innovative, ma anche all'integrazione di esse. Le sinergie tra le varie tipologie di impianti sono maggiormente comprensibili dallo schema generale del Progetto, rappresentato in maniera stilizzata nelle seguente figura.

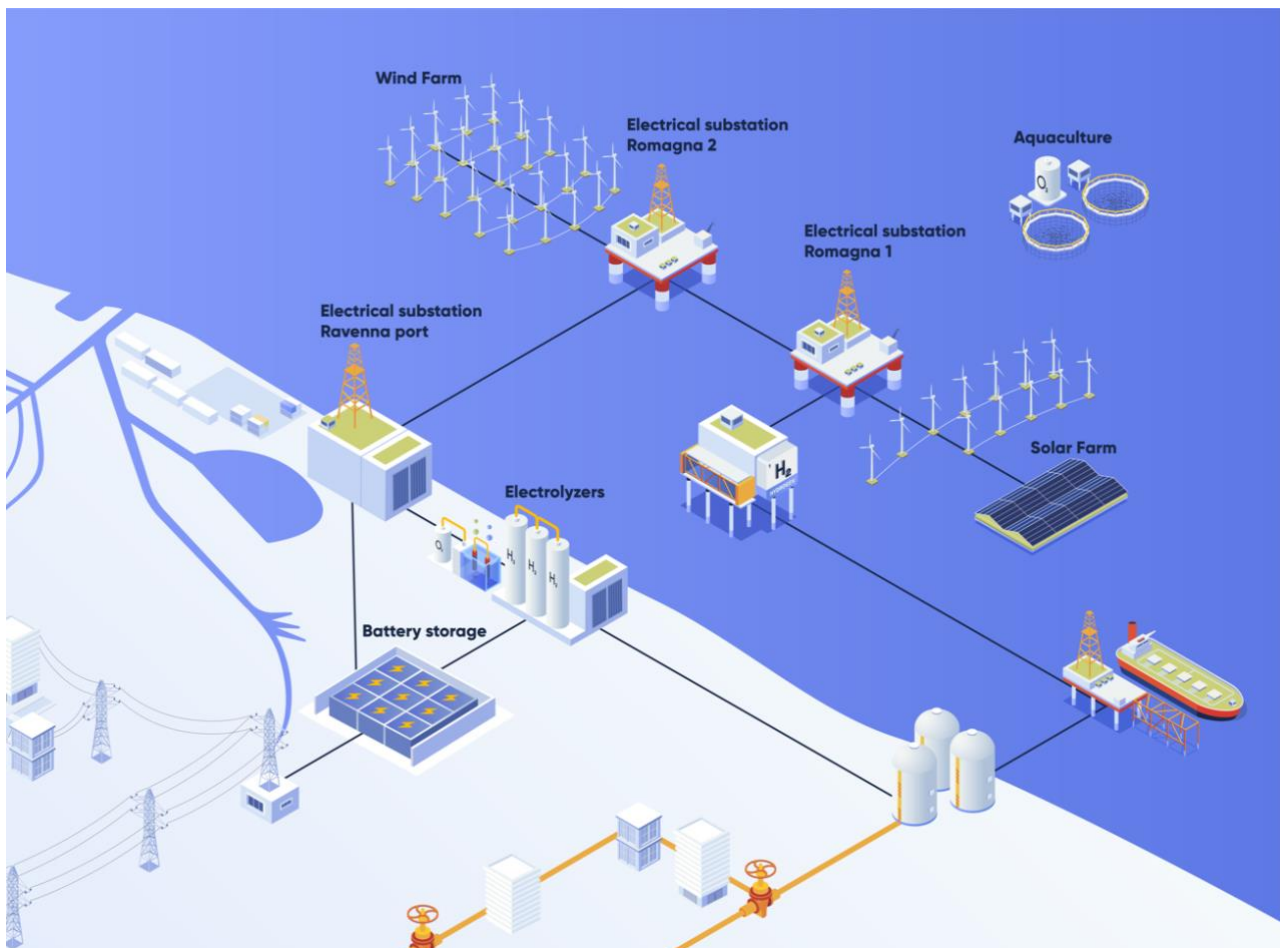


Figura 1: Schema stilizzato dell'hub energetico Romagna 1&2

Come si può evincere dallo schema stilizzato, la produzione elettrica da fonti rinnovabili verrà garantita a mare da due impianti eolici e un impianto fotovoltaico galleggiante, che grazie alle opere di connessione



verrà trasmessa fino alla zona portuale di Ravenna. Lì, l'elettricità potrà essere in parte utilizzata per lo stoccaggio in batterie, in parte per la produzione di idrogeno verde, oppure continuare la sua trasmissione fino al punto di connessione con la RTN, individuato nella stazione Terna "Ravenna Canala" a Piangipane (RA).

L'elettricità viene quindi prodotta e trasmessa a terra per tre diverse finalità tra loro non mutualmente esclusive:

- immissione nella Rete di Trasmissione Nazionale;
- stoccaggio in sistemi di immagazzinamento con batterie agli ioni di litio;
- produzione di idrogeno verde per mezzo del processo di elettrolisi.

La previsione di sistemi che possono assorbire l'elettricità prodotta, stoccandola in batterie o convertendola in idrogeno, rende più facile il contrasto del comune problema delle energia rinnovabili, ovvero la loro intermittenza e il conseguente stress generato sulle reti. L'immissione di elettricità nella RTN potrà quindi essere garantita con maggiore affidabilità, efficienza e continuità rispetto ad un impianto eolico o fotovoltaico *stand alone*.

2.2 Ubicazione geografica e layout

L'hub energetico proposto, in termini di area vasta, è localizzato nell'Italia del Nord Est, in zona sia marina che terrestre. Nei paragrafi successivi si propone una descrizione delle due aree.

2.2.1 Area marina

Il Progetto a mare prevederà l'installazione di opere che insistono su due aree che, in continuità con quanto indicato dal Portale SID del MIMS, si definiscono come *specchi acquei*, suddivisi in **Romagna 1** e **Romagna 2**.

- Romagna 1 è lo specchio acqueo più a sud, con baricentro indicativo avente coordinate Lat. 323990 - Long. 4912671 (WGS84 UTM 33N). Ospiterà n. 25 aerogeneratori da 8 MW cada uno con layout a doppia curva, n. 1 impianto fotovoltaico galleggiante da 100 MW e n. 1 sottostazione elettrica di trasformazione da 66/220 kV.
- Romagna 2 è lo specchio acqueo più a nord, con baricentro indicativo avente coordinate Lat. 318158 - Long. 4935837 (WGS84 UTM 33N). Ospiterà n. 50 aerogeneratori da 8 MW cada uno con layout a cluster e n. 1 sottostazione elettrica di trasformazione da 66/220 kV.

Dal punto di vista amministrativo, l'area marina coinvolta da tali specchi acquei è localizzata nel Mar Adriatico Settentrionale italiano, e giace tra il limite delle acque territoriali e la linea della piattaforma continentale che separa Italia e Croazia.



Entrambi gli specchi acquei sono quindi interamente oltre le 12 miglia nautiche (circa 20 km) di distanza dal litorale emiliano-romagnolo, con le rispettive proiezioni sulla costa che si estendono da Casalborgorsetti (RA) a Cervia (RA).

Le aree SAR (Search and Rescue) interessate da Romagna 1 e Romagna 2 sono principalmente sotto la competenza della U.C.G. di Ravenna, e in minor misura sotto quelle di Cesenatico e Rimini.

Per quanto riguarda gli elettrodotti, vi sarà una coppia di cavi elettrici da 220 kV che collegherà la sottostazione di Romagna 1 alla sottostazione di Romagna 2. Da lì, sempre una coppia di cavi da 220 kV entrerà nelle acque territoriali fino ad approdare alla costa di Punta Marina (RA).

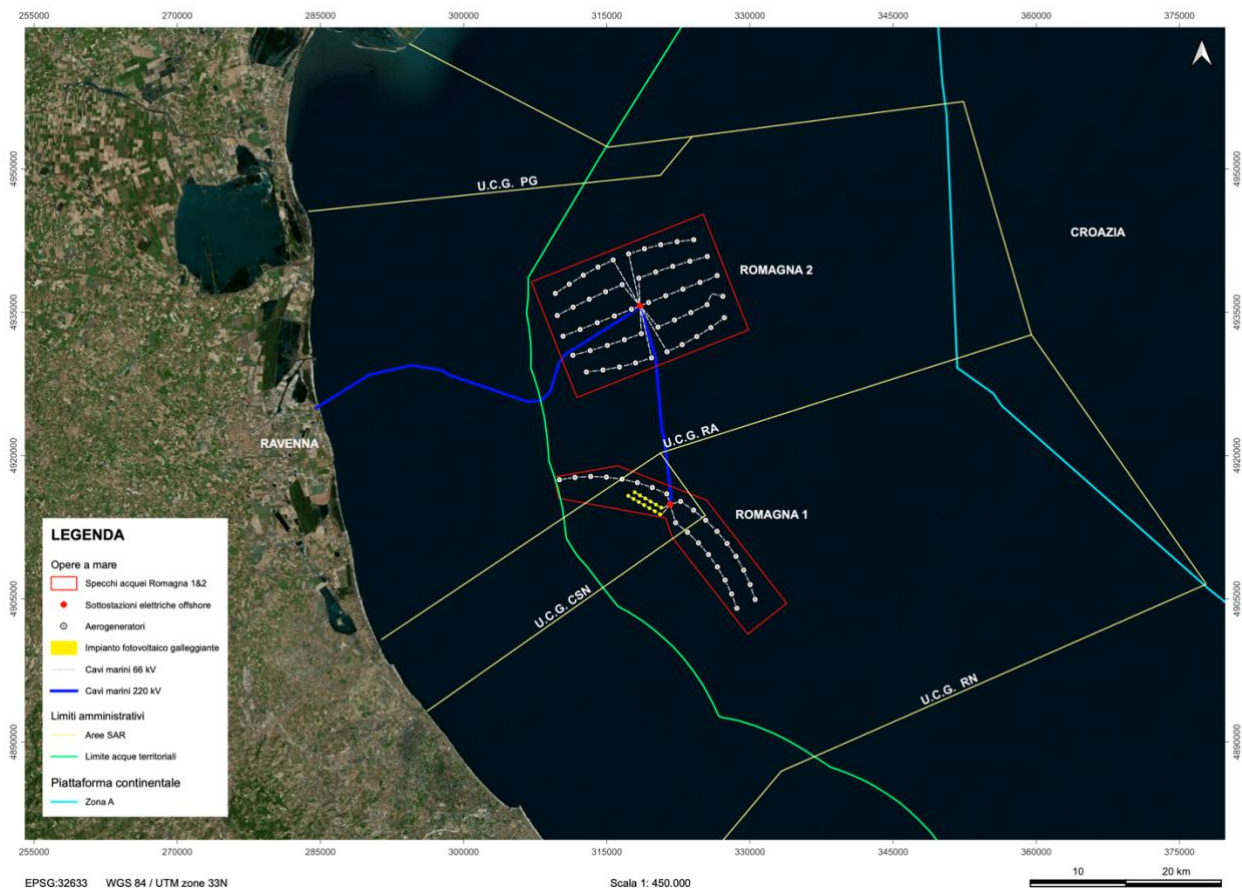


Figura 2: Ubicazione e layout del Progetto a mare rispetto ai limiti amministrativi

2.2.2 Area terrestre

L'area terrestre coinvolta dal Progetto riguarda l'installazione di una serie di impianti e opere di connessione che avverrà nella sua totalità entro i confini del Comune di Ravenna (RA), nella regione Emilia-Romagna.



Il pozzetto di giunzione, identificato come “**Area di Approdo**”, è previsto in un parcheggio a circa 250 metri della spiaggia di Punta Marina (RA) nei pressi di Viale delle Sirti. Da lì, una coppia di cavi terrestri 220 kV giungerà fino alla zona portuale, a sud della Pialassa del Piomboni.

La zona portuale, identificata come “**Agnes Ravenna Porto**”, è ricompresa fra Via Trieste, Via Piomboni e Via Fiorenzi Francesco ed è destinata ad ospitare le tre seguenti opere:

- N. 1 sottostazione elettrica di trasformazione 220/380 kV
- N. 1 impianto di stoccaggio dell’elettricità tramite parco batterie da 50 MW/200MWh
- N. 1 impianto di produzione di idrogeno verde fino a 60 MW, con annessi sistemi per compressione e stoccaggio del gas

Vi sarà una linea a 380 kV uscente dall’area Agnes Ravenna Porto che attraverserà la città di Ravenna nei lati NE e N, per giungere allo stallo disponibile presso la Stazione Elettrica di Terna “Ravenna Canala”, in località di Piangipane (RA). Tale area è denominata “**Punto di Connessione alla RTN**”.



Figura 3: Area terrestre interessata dal Progetto



2.3 Sintesi delle opere previste

In questa sezione è proposta una sintesi delle opere previste nell'ambito del Progetto per facilitare il lettore nella comprensione degli elementi progettuali che compongono l'hub energetico. Per una consultazione tecnica delle singole opere si rimanda alla Relazione tecnica con codice AGNROM_EP-R_REL-TECNICA o alle relazioni specifiche facenti parte del pacchetto documentale.

N. 75 aerogeneratori da 8 MW per una capacità complessiva di 600 MW, altezza hub fino a 170 metri e dimensioni del rotore fino a 260 metri.

La tipologia di aerogeneratori presentata possiede caratteristiche fisiche e tecnologiche nominali, che non fanno riferimento ad una specifica macchina selezionata, ma si basano su dimensioni/ grandezze limite e su potenze installate che trovano un riscontro concreto su alcune tipologie di aerogeneratori che saranno commercializzate e sui futuri sviluppi di macchine impiegabili in siti con medio-bassa ventosità media e con un regime di eventi meteomarinari estremi in linea con l'area di Progetto.

N. 1 impianto fotovoltaico di capacità complessiva 100 MW, su strutture galleggianti con ormeggi ancorati al fondale.

L'impianto fotovoltaico galleggiante si basa su diverse strutture modulari che possono essere collegate in serie e suddivise in diversi impianti per andare a comporre i 100MW totali. Le tecnologie potenzialmente applicabili per il Progetto sono state analizzate, e in fase di progettazione esecutiva verrà selezionata la tecnologia più appropriata.

Elettrodotti marini da 66 kV

Gli elettrodotti di interconnessione elettrica hanno lo scopo di collegare in serie gli aerogeneratori e le piattaforme di fotovoltaico galleggiante per trasmettere l'energia dagli impianti di produzione alle due sottostazioni elettriche di trasformazione offshore.

N. 2 sottostazioni elettriche di trasformazione offshore 66/220 kV

Le due sottostazioni di conversione elettrica offshore hanno la funzione di innalzare la tensione dell'energia trasmessa da 66 kV a 220 kV tramite trasformatori (n°2 nella sottostazione di Romagna 1 e n°2 nella sottostazione di Romagna 2), i reattori per la compensazione di potenza reattiva, i sistemi GIS, le apparecchiature ausiliarie, quadri elettrici, quadri strumentali, quadri di controllo e stanze con la finalità di "rifugio temporaneo" quindi adibite per ospitare personale.

Elettrodotti marini da 220 kV



Le linee di elettrodotti export da 220 kV si suddividono nel corridoio di collegamento che connette la sottostazione di Romagna 1 con la sottostazione di Romagna 2 ed il corridoio principale che connette la sottostazione di Romagna 2 alla buca giunti di transizione terra-mare coincidente con l'area di approdo, con la parte finale di trasmissione elettrica export realizzata in modalità "trenchless" senza l'utilizzo di scavi a cielo aperto ma tramite HDD (*Horizontal Directional Drilling*).

N. 1 pozzetto di giunzione

Il pozzetto di giunzione è situato in un'area di parcheggio pubblico a 250 metri circa dalla zona costiera, ed ospita la vasca giunti per la transizione tra cavidotti terrestri e cavidotti marini. I cavidotti marini bypassano, tramite tunnel sotterraneo, le scogliere frangiflutti, l'area costiera, il progetto di Parco Marittimo e l'area di pineta marittima per raggiungere i giunti di transizione terra-mare.

Elettrodotti terrestri da 220 kV

Il tracciato dei cavi interrati a 220 kV parte dalla buca giunti posta in area di parcheggio pubblico, località Punta Marina, ed arriva alla Stazione Elettrica di Trasformazione 220/380 kV di nuova realizzazione in area Agnes Ravenna Porto. I cavidotti interrati si compongono di due linee trifasi con tre cavi unipolari per linea installati in piano, con limitazioni sulle singolarità riscontrabili lungo il tracciato che richiedono una posa all'interno di tubi in corrispondenza di sottopassi posa con trivellazione controllata (TOC).

N. 1 sottostazione elettrica di trasformazione onshore 220/380 kV

La realizzazione della nuova sottostazione elettrica di trasformazione è necessaria a ricevere, a mezzo cavi export terrestri a 220 kV provenienti dalla buca giunti terra-mare, l'energia generata dagli impianti eolici e fotovoltaico e trasferirla, previa elevazione alla tensione di 380 kV, mediante cavi export terrestri a 380 kV alla Stazione Elettrica Terna "La Canala", individuata come punto di connessione alla RTN. La sottostazione si compone di tre autotrasformatori trifase di potenza 220/380 kV 400MVA, due trasformatori trifase di potenza 220/35 kV 125 MVA, sei reattori unipolari 220 kV 40 MVAR, tre reattori unipolari 380 kV 60 MVAR, due resistori di neutro trasformatore 220/35 kV.

N. 1 impianto di stoccaggio dell'elettricità per mezzo di batterie

L'impianto di stoccaggio di energia elettrica da 50MW/200MWh garantisce un accumulo di energia che può essere utilizzato sia al servizio del capacity market per la stabilizzazione della Rete Nazionale sia per garantire un polmone di energia all'impianto di produzione idrogeno verde.

N. 1 impianto di produzione, compressione e stoccaggio di idrogeno verde



L'impianto di idrogeno gode di una connessione diretta con la sottostazione di trasformazione e quindi con gli impianti di produzione offshore, garantendo la produzione di idrogeno verde tramite un impianto di elettrolizzatori fino a 60 MWe ed il relativo impianto di stoccaggio dell'idrogeno con capienza massima di circa 16 tonnellate.

Elettrodotti terrestri da 380 kV

I cavi interrati a 380 kV partono dalla sottostazione elettrica di trasformazione 220/380 kV di nuova realizzazione, per giungere alla stazione elettrica Terna "La Canala". I cavidotti interrati si compongono di una linea trifase con tre cavi unipolari installati in piano, con limitazioni sulle singolarità riscontrabili lungo il tracciato che richiedono una posa all'interno di tubi in corrispondenza di sottopassi posa con trivellazione controllata (TOC).



3. CAMPI ELETTROMAGNETICI

3.1 Definizione

Il campo elettromagnetico è il campo che descrive l'interazione elettromagnetica, ed è costituito dalla combinazione del campo elettrico e del campo magnetico. Esso è generato localmente da qualunque distribuzione di carica elettrica variabile nel tempo, propagandosi nello spazio sotto forma di onde elettriche e magnetiche tra loro perpendicolari (Feynman *et al.*, 1970).

Il campo elettrico (E) rappresenta una modificazione o perturbazione dello spazio generata dalla presenza di una o più cariche elettriche, e la sua intensità è misurata in Volt per metro (V/m).

Il campo magnetico (H) rappresenta invece la proprietà magnetica dello spazio, dovuta alla presenza di cariche elettriche in movimento (corrente) o di magneti. L'unità di misura dell'intensità del campo magnetico è l'Ampere al metro (A/m), sebbene sia più frequentemente utilizzato il Tesla (e i suoi sottomultipli). Il Tesla, a differenza dell'Ampere, tiene conto anche del mezzo (*a.e.* aria) entro cui il campo magnetico si genera e propaga.

Il campo elettromagnetico può inoltre essere caratterizzato da una frequenza¹, corrispondente al numero di oscillazioni compiute dall'onda al secondo e misurata in Hertz (Hz).

3.2 Caratteristiche dei cavi sottomarini e dei campi elettromagnetici prodotti

Esistono sostanzialmente cinque modelli di cavi sottomarini, di cui due a corrente alternata e tre a corrente continua (due bipolari ed uno monopolare) (OSPAR, 2012).

La **corrente alternata** (AC, *Alternating Current*) è un tipo di corrente elettrica nella quale il flusso di elettroni inverte la propria direzione continuamente nel tempo. A differenza della **corrente continua** (DC, *Direct Current*) in cui il flusso degli elettroni è unidirezionale, nella corrente alternata il flusso di elettroni inverte ciclicamente la propria direzione (tipicamente con frequenza pari a 50 o 60 Hz). La corrente alternata ha il vantaggio di poter essere trasmessa rapidamente, di essere piuttosto economica e di poter lavorare a tensioni elevate. D'altra parte, data l'elevata capacità dei cavi utilizzati nella trasmissione della corrente alternata, si verificano perdite di energia che limitano la lunghezza dei circuiti a meno di 100 km. Ciò non

¹ La frequenza di un campo elettromagnetico è caratteristica dei soli campi generati da correnti alternate. La corrente continua, al contrario, non presenta frequenza.



accade al contrario nel caso di corrente continua, rendendola l'unica alternativa tecnica possibile per collegamenti a lunga distanza (Ragheb, 2009).

Per la corrente alternata, le due tipologie di cavo esistenti sono il cavo a tre conduttori e il cavo a singolo conduttore, ciascuno con caratteristiche e vantaggi differenti. I cavi a tre conduttori presentano vantaggi dovuti al fatto che il campo elettromagnetico è quasi nullo alla superficie del cavo e che lo spazio cavo è riempito da plastica, che funge da materiale stabilizzante. La plastica, a differenza di altre sostanze come l'olio sintetico, scongiura il rischio di fuoriuscite accidentali e contaminazioni dell'ambiente marino. I cavi a singolo conduttore hanno il vantaggio di avere un'elevata capacità trasmissiva, rendendo tuttavia necessaria la presenza di tre cavi per la creazione di un sistema trifase.

Nel caso della corrente continua, i cavi non hanno tensione e corrente indotta pertanto non presentano perdite attraverso la loro calza metallica. Per limitare l'emissione di campi elettromagnetici nell'ambiente, i due poli del sistema a corrente continua, "positivo" e "negativo", devono essere installati in parallelo e il più vicino possibile tra loro. Ciò è ottenibile attraverso l'utilizzo di singoli cavi a due conduttori o di coppie di cavi a singolo conduttore. I due cavi a singolo conduttore possono essere posati come cavi separati, piatti o coassiali. Idealmente, in un sistema a cavi coassiali la riduzione delle emissioni di campi elettromagnetici arriva al 100%. Il sistema monopolare consiste invece di un solo conduttore in cui il flusso di corrente scorre in avanti, e in cui il circuito di ritorno è costituito dall'ambiente stesso: la corrente viene infatti re-immessa nel circuito attraverso degli elettrodi posizionati alle estremità del cavo e nell'acqua circostante. Poiché i campi elettromagnetici generati da questa tipologia di trasmissione sono di forte intensità, buona parte delle nazioni europee non li utilizzano non essendo conformi agli standard per l'impatto ambientale (Stehmeier, 2006).

L'intensità e le caratteristiche dei campi elettromagnetici generati da cavi sottomarini variano in relazione a distinti fattori, tra cui:

- L'interramento dei cavi, che riduce l'intensità del campo elettromagnetico rispetto ai suoi effetti a contatto con il cavo (CMACS, 2003);
- Il flusso di corrente che attraversa il cavo (solitamente tra gli 850 A e i 1600 A), essendo l'intensità del campo elettromagnetico generato proporzionale ad esso (Tricas & Gill, 2011);
- Il tipo di corrente che scorre nei cavi (continua o alternata; Tricas & Gill, 2011); e
- La distanza del cavo, all'aumentare della quale diminuisce rapidamente l'intensità dei campi elettromagnetici. Nei cavi sottomarini a 1600 A, ad esempio, i campi magnetici generati hanno intensità circa pari 3200 μT , diminuendo a 320 μT ad un metro di distanza, 110 μT a 4 m e 50 μT oltre i 6 m, valore comparabile al campo geomagnetico terrestre ($\sim 50 \mu\text{T}$)

Nelle tabelle e le figure seguenti (Figura 4,



Tabella 1; Figura 5, Tabella 2) si riporta l'intervallo di intensità e l'intensità media del campo magnetico ottenuta attraverso l'utilizzo di 10 modelli di cavi per la trasmissione di corrente alternata e di 9 modelli di cavi per la trasmissione di corrente continua. I valori ottenuti sono subordinati all'assunzione che i cavi siano interrati ad un metro sotto il fondale marino.

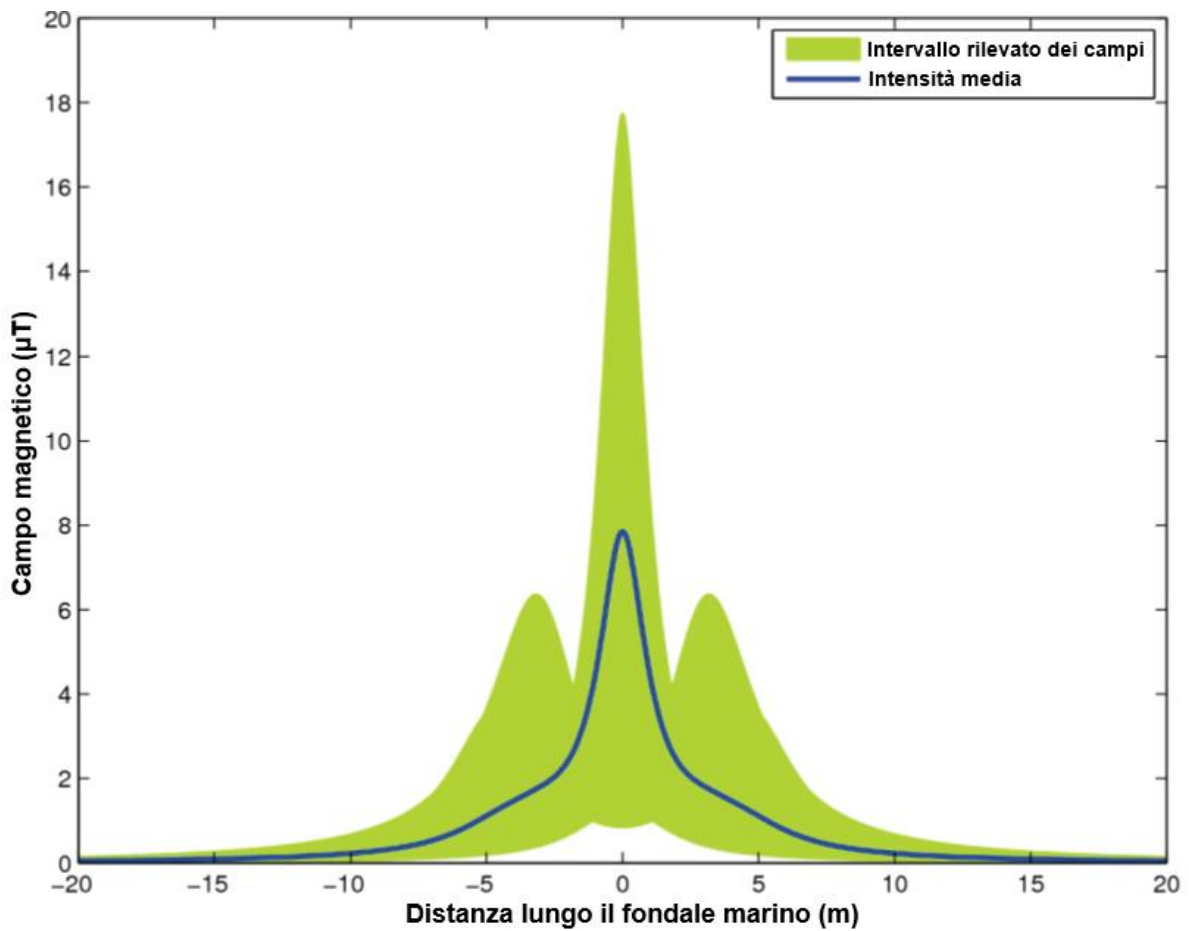


Figura 4: Media e intervallo di intensità del campo magnetico sulla superficie del fondo marino calcolato per 10 cavi a corrente alternata (fonte: Tricas & Gill, 2011).



Tabella 1: Valori medi dei campi elettromagnetici (μT) generati dalla corrente alternata ad intervalli orizzontali e verticali lungo il fondale marino con il cavo sepolto di 1 m.

Distanza verticale dal fondale marino (m)	Intensità campo elettromagnetico (μT)		
	Distanza orizzontale dal cavo (m)		
	0 m	4 m	10 m
0 m	7,85	1,49	0,22
5 m	0,35	0,29	0,14
10 m	0,13	0,12	0,08

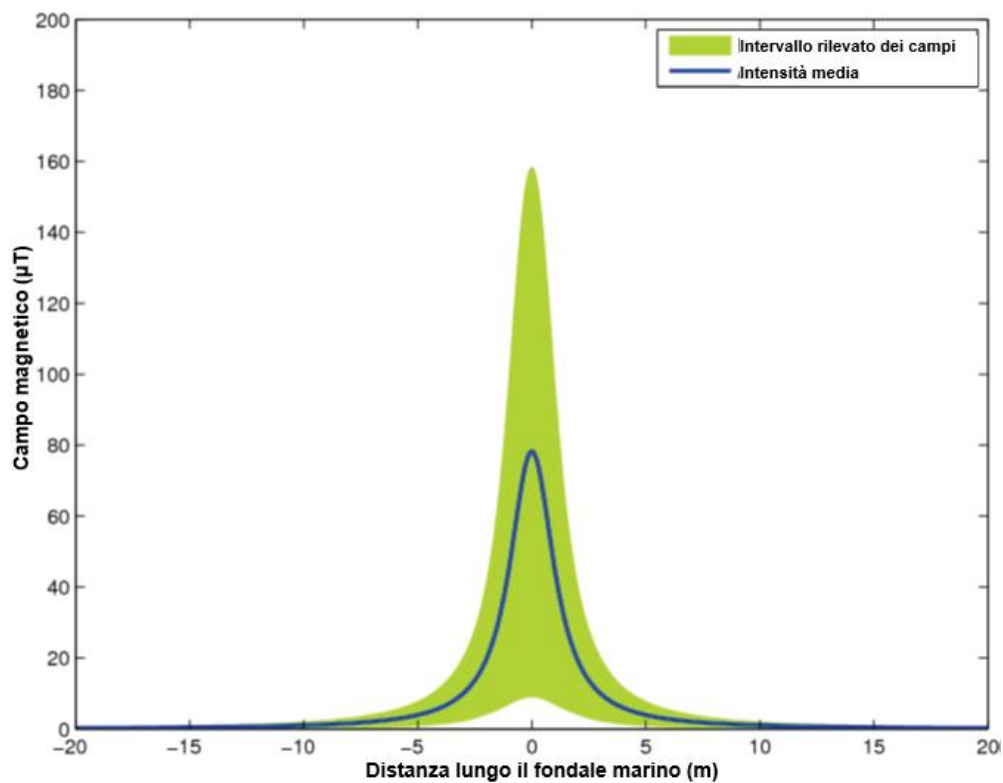


Figura 5: Media e intervallo di intensità del campo magnetico sulla superficie del fondo marino calcolato per 9 cavi a corrente continua (fonte: Tricas & Gill, 2011).



Tabella 2: Valori medi dei campi elettromagnetici (μT) generati dalla corrente continua ad intervalli orizzontali e verticali lungo il fondale marino con il cavo sepolto di 1 m.

Distanza verticale dal fondale marino (m)	Intensità campo elettromagnetico (μT)		
	Distanza orizzontale dal cavo (m)		
	0 m	4 m	10 m
0 m	78,27	5,97	1,02
5 m	2,73	1,92	0,75
10 m	0,83	0,74	0,46

Come è possibile osservare dalle tabelle, in entrambi i tipi di cavo (corrente alternata e corrente continua) l'intensità dei campi elettromagnetici scende drasticamente a 4-5 m di distanza dal cavo. L'intensità dei campi elettromagnetici generati da corrente continua è inoltre dieci volte più intensa rispetto a campi creati da cavi a corrente alternata indipendentemente dalla distanza dal cavo.

3.3 Caratteristiche dei cavi del Progetto

Per la sezione offshore del Progetto Agnes Romagna 1&2 saranno utilizzati due tipologie di cavi sottomarini:

- i primi, con tensione elettrica pari a 66kV, saranno utilizzati per collegare gli aerogeneratori e l'impianto fotovoltaico galleggiante alle sub-stazioni elettriche offshore.
- I secondi, con tensione elettrica pari a 220kV, saranno utilizzati per la connessione delle due sottostazioni elettriche comprese tra il parco "Romagna 1" e "Romagna 2" e tra la sottostazione di Romagna 2 e il punto di approdo terrestre (dove si congiungeranno i cavi sottomarini e quelli terrestri).

Entrambe le tipologie di cavo produrranno correnti alternate con frequenza pari a 50 Hz, e saranno dotate di 3 conduttori per cavo.

I cavi saranno posizionati in trincee appositamente scavate. I cavi di connessione tra gli aerogeneratori saranno posizionati in trincea a -1 m sotto il fondo marino, mentre tutti gli altri a circa -1.5 m sotto il fondo marino.

A livello di campi elettromagnetici, sulla base delle informazioni disponibili, è ipotizzabile che il campo generato sia di circa 7,85 μT sul sedimento superficiale posizionato al di sopra del cavo sepolto (sotto 1 metro di sedimento) e che possa decrescere fino a circa 0,35 μT alla distanza di 5 m dal fondo (sulla verticale del cavo). Il campo magnetico, inoltre, dovrebbe decrescere rapidamente allontanandosi dalla verticale sul cavo, arrivando a misurare solo più 1,49 μT sul sedimento a 4 m dalla verticale dal cavo e 0,29 μT nella colonna d'acqua sovrastante a 5 m dal fondo. A 10 m di distanza dalla verticale sul cavo il campo diventa



estremamente ridotto misurando 0,22 μ T nel sedimento e 0,14 nella sovrastante colonna d'acqua a 5 m dal fondo.

Di seguito è riportata la struttura generale dei cavi di previsto impiego (Figura 6, Figura 7).

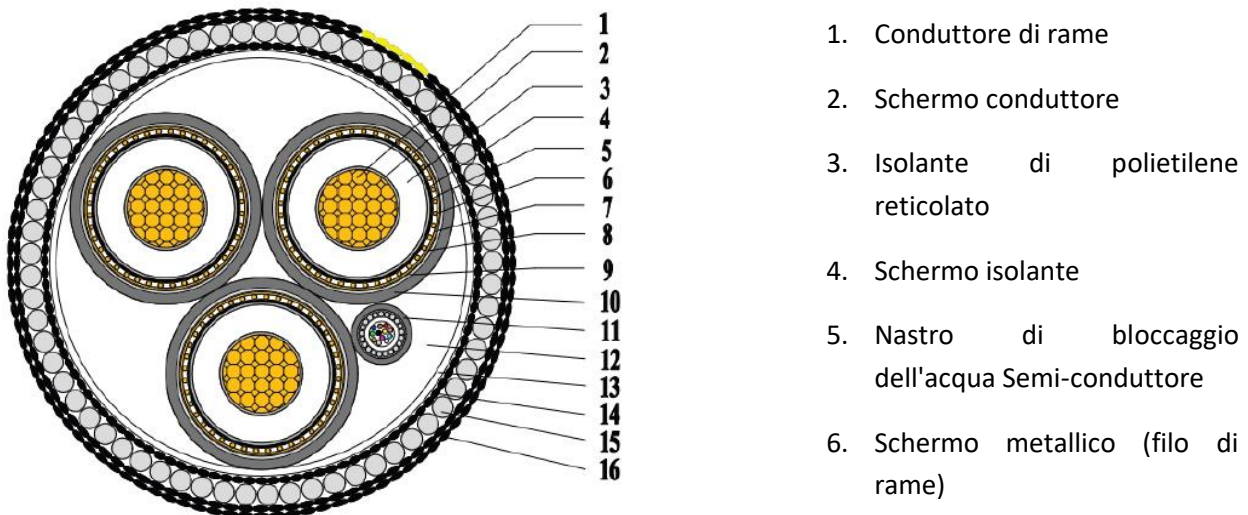


Figura 6: Struttura generale dei cavi da 66 kV

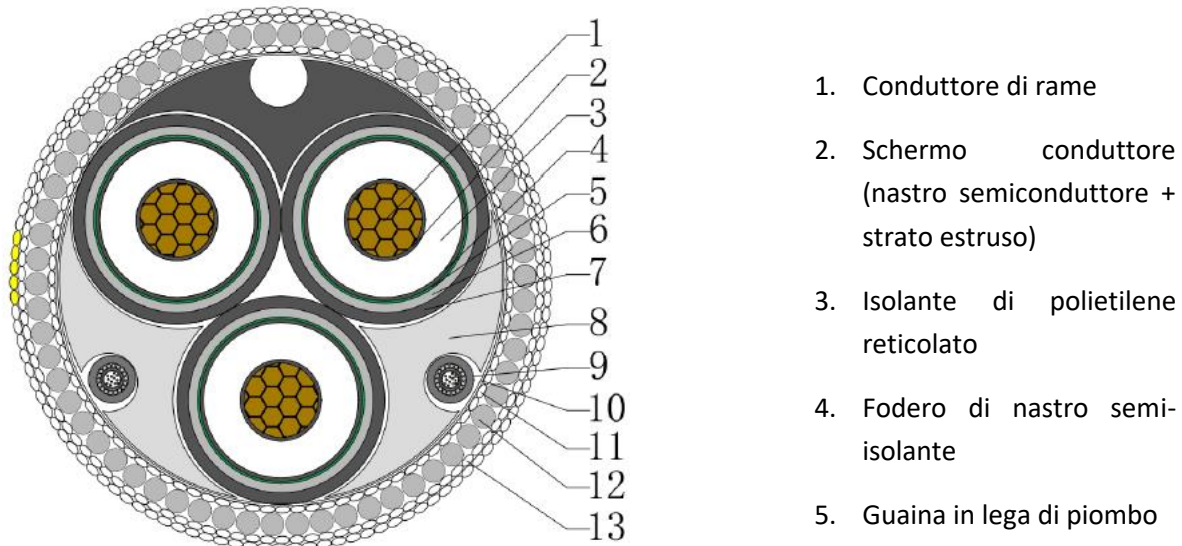


Figura 7: Struttura generale dei cavi da 220 kV



4. EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI SULLA FAUNA MARINA

Come indicato nei precedenti capitoli, il flusso di corrente che scorre attraverso i cavi elettrici durante il funzionamento di un parco eolico genera campi elettromagnetici le cui intensità variano in funzione della potenza elettrica (il flusso di lavoro elettrico per unità di tempo), il tipo di corrente che scorre nei cavi (corrente alternata o continua), il tipo di cavo utilizzato (bilanciamento del carico tra le tre fasi nel cavo, distanza dei conduttori, ecc.) e, in caso di sepoltura del cavo elettrico, la profondità a cui quest'ultimo viene posto (Meloni *et al.*, 1983).

La capacità di percepire stimoli elettromagnetici (tra cui quello terrestre) è segnalata per una vasta gamma di taxa marini, tra cui mammiferi marini, chelonidi (Lohmann & Lohmann, 1996; Lohmann *et al.*, 2001), pesci (Taylor, 1986; Tesch; Wendt & Karlsson 1992; Kalmijn, 1982), e per diversi gruppi di invertebrati (Barnwell & Brown, 1964; Ratner, 1976; Lohmann & Willows, 1987).

Tali organismi utilizzano i campi magnetici per regolare importanti funzioni vitali, come l'orientamento, la migrazione e la ricerca di cibo (Lohmann *et al.*, 2014). Ogni punto della superficie terrestre è infatti caratterizzato dalla presenza di un campo geomagnetico, la cui intensità varia in relazione alla località e l'area geografica tra i 20 μT e i 75 μT (Bochert & Zettler, 2006). I campi elettromagnetici di origine antropogenica possono dunque interferire con questi processi danneggiando la *fitness* (idoneità di un organismo all'ambiente) dei vari gruppi tassonomici con cui interagiscono. Di seguito si riporta una sintesi delle conoscenze attualmente presenti per i distinti taxa citati.

4.1 Invertebrati

Vi sono attualmente evidenze di risposte a campi elettrici o magnetici in almeno 3 phyla di invertebrati: Mollusca, Arthropoda e Echinodermata.

L'abilità di magnetorecezione, mediata dalla presenza di cristalli di magnetite (Normandeu *et al.*, 2011), è stata attestata da diversi studi: Cameron *et al.* (1993) e Levin e Ernst (1997) hanno dimostrato che campi magnetici di intensità compresa tra 1 e 10 μT e frequenza di 50-60 Hz sono sufficienti ad interferire con i processi di divisione cellulare in due specie di riccio di mare (*Lytechinus pictus*, *Strongylocentrotus purpuratus*) causando anomalie nello sviluppo degli embrioni. Lohmann e Willows (1987) hanno dimostrato l'abilità del nudibranco *Tritonia diomedea* di ottenere informazioni direzionali dal campo geomagnetico terrestre, utilizzandole per l'orientamento spaziale. Studi fisiologici dimostrano la sensibilità di *Mytilus galloprovincialis* (mitilo mediterraneo) a campi magnetici di intensità compresa tra 300-700 μT (Malagoli *et al.* 2003, Malagoli *et al.* 2004). Ugolini e Pezzani (1995) hanno evidenziato la presenza di una "bussola magnetica" nell'isopode marino *Idotea baltica basteri*. Secondo gli autori, la specie utilizzerebbe il campo magnetico terrestre per orientarsi rispetto alla linea di costa e sarebbe inoltre in grado di modificare il *set-point* della bussola sulla base di punti di riferimento locali. Evidenze dell'abilità di magnetorecezione sono state documentate anche per crostacei anfipodi. Esperimenti di mascheramento del campo geomagnetico



hanno causato, ad esempio, un aumento dei movimenti del corpo in *Talorchestia martensii*; comportamento interpretato come un tentativo dell'animale di scansionare l'ambiente alla ricerca del campo magnetico (Ugolini, 2006). Al contrario, l'esposizione ad un campo elettromagnetico di intensità pari a 0,8 T e con frequenza pari a 50 Hz non avrebbe scatenato alcuna risposta nell'astice europeo (*Homarus vulgaris*) (Ueno *et al.*, 1986). Come per altri taxa marini, anche per gli invertebrati il ruolo funzionale della magnetorecezione sembrerebbe essere quello di orientamento, navigazione e homing² (Lohmann *et al.* 2007, Cain *et al.* 2005).

Esigue sono invece le informazioni riguardo l'elettrorecezione. La sensibilità riportata ai campi elettrici per gli invertebrati, studiata prevalentemente su crostacei decapodi delle specie *Procambarus clarkii* (Steullet *et al.* 2007) e *Cherax destructor* (Patullo and Macmillan 2007) variava da circa 3 a 20 mV/cm.

Per quanto riguarda i campi elettromagnetici generati da cavi sottomarini, non esistono prove dirette di impatti su invertebrati.

Le specie di invertebrati elettrosensibili finora identificate mostrano generalmente soglie di sensibilità maggiori rispetto a quelle generate da cavi sottomarini, e non sarebbero dunque influenzati dalla presenza di tali campi.

Rispetto alle specie magneto-recettive, i potenziali impatti dipenderebbero da variabili tra cui l'intensità del campo magnetico, la prossimità dell'organismo al cavo e la funzione primaria della magnetorecezione. Adair (1994) ha calcolato ad esempio che sarebbero necessari campi elettromagnetici di frequenza pari a 60 Hz e intensità superiore a 5 μ T per sollecitare una risposta da parte dei cristalli di magnetite. Ipotizzando un effetto del campo magnetico, nelle specie che utilizzano la magnetorecezione allo scopo di orientarsi, il passaggio in prossimità di un cavo sottomarino potrebbe provocare il disorientamento dell'animale, causando la modifica o l'inversione di marcia in risposta allo stimolo magnetico (Gill and Kimber, 2005). Per quelle specie in cui è principalmente il processo di *homing* ad essere mediato da stimoli magnetici, tale funzione potrebbe quindi teoricamente essere alterata.

4.2 Elasmobranchi

La capacità di rilevare i campi elettrici è ben nota per gli elasmobranchi, dove la diffusa presenza di strutture anatomiche ricettive (ampolle di Lorenzini) suggerisce che si tratti di una capacità virtualmente universale all'interno del gruppo.

² In etologia, l'insieme dei comportamenti che consentono a un animale di ritrovare un luogo familiare a partire da luoghi posti anche a notevole distanza.



Studi empirici mostrano come squali e razze siano sensibili a campi magnetici bipolari ed uniformi con gradienti a partire da 1-5 nV/cm ($=1-5 \times 10^{-7}$) (Tricas & Gill, 2011). I neuroni afferenti primari elettrosensoriali delle razze rispondono a gradienti di tensione elettrica inferiori a 20 nV/cm (Tricas e New 1998), mostrando ampie reazioni a onde di corrente alternata con frequenze comprese tra 1 e 10 Hz (Andrianov *et al.* 1984; Montgomery, 1984; Tricas e New, 1998).

Esperimenti di neurofisiologia nelle razze hanno inoltre rivelato la presenza di risposte a stimoli magnetici (Andrianov *et al.*; 1974, Akoev *et al.*, 1976; Brown e Ilyinsky 1978), con un tasso minimo di variazione del campo magnetico in grado di provocare una risposta pari a 200 μ T/sec. È stato inoltre ipotizzato, seguendo le rotte migratorie di individui di squali martello lungo le coste messicane, come i movimenti posti in atto potrebbero essere correlati alla variazione del campo geomagnetico terrestri. Rimane tuttavia da determinare il meccanismo alla base di tali osservazioni.

Sebbene non esistano studi relativi ai potenziali impatti di cavi sottomarini sugli elasmobranchi, è possibile ipotizzare che i cavi possano interferire con 4 processi primari:

- **Migrazione:** molti elasmobranchi migrano stagionalmente, e l'incontro con cavi elettrici sottomarini potrebbe temporaneamente influenzare il comportamento degli organismi su corte distanze. I campi elettromagnetici generati dai cavi potrebbero tuttavia anche essere utilizzati come punti di riferimento. Per le specie non migratrici, è ipotizzabile che gli animali potrebbero essere attratti, repulsi o non influenzati in alcun modo dal campo elettromagnetico. Nessuno studio scientifico, tuttavia, è stato eseguito per esplorare queste possibilità alternative.
- **Alimentazione:** gli elettrorecettori degli elasmobranchi sono essenziali nel garantire loro un'efficace localizzazione delle prede. Sebbene non vi siano dati relativi al successo di alimentazione in aree caratterizzate da campi elettromagnetici di origine antropogenica, i dati disponibili suggeriscono che l'individuazione e l'attacco delle prede siano focalizzati su sorgenti di campi a bassa frequenza (cioè <10 Hz).
- **Riproduzione:** molti elasmobranchi utilizzano la magnetorecezione per dirigersi verso specifici luoghi di accoppiamento. Anche in questo caso, tuttavia, non sono noti effetti di cavi in aree riproduttive.
- **Distribuzione:** gli stadi giovanili di molte specie di elasmobranchi popolano la zona costiera nei primi anni di vita, dove il cibo è abbondante e i predatori sono ridotti. L'installazione di cavi potrebbe causare un'alterazione del comportamento e della distribuzione di questi individui, anche questa ipotesi tuttavia non è ad oggi stata testata.

La trasmissione di energia ai siti onshore tramite sistemi a corrente alternata avviene generalmente con frequenze di 50-60 Hz. I neuroni primari elettrosensoriali nei pesci elasmobranchi sono per lo più sensibili a campi elettrici di frequenza compresa tra 1 e 10 Hz, mostrando tuttavia risposte in un più ampio range di frequenze (0,01-25 Hz) (New & Tricas 1997, Bodznick *et al.* 2003). Sulla base di studi neurofisiologici, la sensibilità diretta a campi di 50 - 60 Hz di frequenza dovrebbe dunque essere molto ridotta (se non assente).



È tuttavia da notare che alcune osservazioni condotte nell'ambito del Progetto COWRIE (*Collaborative Offshore Wind energy Research Into the Environment*) hanno mostrato un cambiamento nella distribuzione e nel comportamento di elasmobranchi all'accensione di cavi a corrente alternata sepolti, sebbene tale risposta variasse non solo in base alle specie, ma anche a singoli individui, rendendo difficoltoso lo sviluppo di considerazioni (Gill *et al.*, 2009; Taormina *et al.*, 2018). Si sottolinea inoltre che i Torpediniformi (inclusa *Torpedo marmorata* presente in Alto Adriatico) sarebbero in grado di percepire campi elettrici anche maggiori di 50 Hz.

4.3 Altri pesci

Evidenze riguardanti la capacità di percezione di campi elettromagnetici per altri pesci (non elasmobranchi) derivano da studi fisiologici, comportamentali e anatomici.

In accordo con Bullock (2002), i pesci non elasmobranchi sarebbero dotati di due principali tipologie di organi sensoriali elettrorecettivi, ampollari e tuberosi. I recettori ampollari sarebbero in grado di percepire campi elettrici a bassa frequenza (da <0,1 a 25Hz) mentre quelli tuberosi campi a frequenza più alta (da >50 Hz). I recettori tuberosi si troverebbero tuttavia soltanto nelle specie autonomamente capaci di produrre scariche elettriche, attraverso la presenza di organi elettrogenici, come i Mormiridi e Gimnarchidi (entrambi gruppi di specie d'acqua dolce, quindi non presenti nell'area del Progetto) e Torpediniformi; questi ultimi appartengono al gruppo dei pesci cartilaginei di cui al precedente capitolo 4.2.

I ruoli funzionali della sensibilità ai campi elettrici sembrerebbero analoghi a quelli riscontrati negli elasmobranchi: studi comportamentali suggeriscono che il ruolo primario dell'elettrorecezione nei pesci sia la localizzazione delle prede (Collin and Whitehead, 2004). Altri usi potenziali includerebbero la localizzazione dei predatori, funzioni sociali e riproduttive.

Per quanto riguarda la magnetorecezione, evidenze sperimentali hanno dimostrato la capacità di magnetorecezione in almeno due famiglie di teleostei (Salmonidae e Scombridae) e in tre famiglie non dotate dell'abilità di elettrorecezione (Scorpaenidae, Haemulidae, Pleuronectidae) (Walker *et al.* 1984, Kirschvink *et al.* 1985, Mann *et al.* 1988).

Il modello di magnetorecezione basato sulla presenza di cristalli di magnetite è considerato il meccanismo più probabile per spiegare il senso magnetico nei pesci. Tra i primi studi a riportare la presenza di cristalli di magnetite nella regione frontale di pesci quelli di Walker *et al.* (1984), Kirschvink *et al.* (1985) e Mann *et al.*, (1988), identificandoli in esemplari di salmone e tonno. Più recentemente sono stati identificati cristalli di magnetite e strutture di supporto nella rosetta olfattiva della trota iridea, *Oncorhynchus mykiss* (Walker *et al.* 1997, Diebel *et al.* 2000), specie d'acqua dolce non presente nell'area di studio.

Gran parte dei lavori sulla magnetorecezione nei pesci ha coinvolto la manipolazione del campo magnetico terrestre (generalmente ~ 50 μ T), riportando sensibilità a campi magnetici di intensità comprese tra 10 e 12 μ T (Nishi & Kawamura 2005; Walker 1984). In base alle sensibilità riferite per altri gruppi di animali, le



sensibilità probabili di pesci non elasmobranchi per i campi magnetici potrebbe tuttavia essere molto più bassa (Kirschvink e Gould 1981, Lohmann e Lohmann 1996b). Walker *et al.* (1984) ha ad esempio teorizzato che il tonno pinna gialla (*Thunnus albacares*), specie tuttavia non presente in Adriatico, possa rilevare intensità di campo magnetico fino a 1-100 nt.

Un campo magnetico generato da cavi sottomarini potrebbe dunque temporaneamente interferire con l'orientamento o la navigazione (Walker *et al.* 2007) di alcune specie di pesci. In accordo con Adair (1994), campi magnetici generati da sistemi di corrente alternata alla frequenza di 60 Hz dovrebbero avere intensità almeno pari a 5 μ T per scatenare una reazione a livello dei cristalli di magnetite.

4.3.1 Rotte migratorie

L'Alto Adriatico è interessato da fenomeni migratori di specie quali tonno rosso (*Thunnus thynnus*), acciuga (*Engraulis encrasicolus*), sardina (*Sardina pilchardus*) e anguilla europea (*Anguilla anguilla*). Mentre le prime tre specie mostrano abitudini pelagiche (e nuotano quindi prevalentemente ad una certa distanza dal fondo dove sono sepolti i cavi), le anguille trovano spesso riparo dai predatori a livello del fondale marino (Tomie *et al.*, 2017; Christoffersen *et al.*, 2018) risultando potenzialmente più suscettibili agli effetti dei campi elettromagnetici emessi dai cavi sottomarini.

L'anguilla europea (*Anguilla anguilla*) è una specie migratrice e catadroma, vivendo e accrescendosi in acqua dolce per riprodursi esclusivamente in mare. La specie è attualmente considerata in Pericolo Critico di estinzione (IUCN, 2013) a causa del forte declino degli stock locali e della drastica contrazione del reclutamento evidenziata da oltre 30 anni. L'unico sito riproduttivo per questa specie è il Mar dei Sargassi, nell'Atlantico centro-occidentale, che viene raggiunto dai riproduttori a seguito di una traversata transoceanica dai bacini europei. Dal mar dei Sargassi, gli individui muovono nuovamente verso l'Europa, compiendo una migrazione di circa 6000 km (Durif *et al.*, 2013).

Le Valli di Comacchio rappresentano le zone maggiormente interessate dalla rimonta delle ceche³ in Alto Adriatico (Area Vasta). La migrazione del novellame dal mare alle acque salmastre avviene tra gennaio e aprile, mentre quella dei riproduttori si verifica in due periodi dell'anno: tra ottobre e dicembre e tra febbraio e aprile (Castaldelli *et al.*, 2014). L'Area di Sito si colloca dunque in prossimità delle rotte migratorie di questa specie sia in entrata che in uscita.

Un aspetto della biologia di *A. Anguilla* poco conosciuto è la fase marina della sua migrazione riproduttiva ed in particolare i segnali biologici e ambientali in grado di controllare tale migrazione.

³ Stadio giovanile delle anguille. Segue lo stadio di leptocefalo (larvale) e precede quello di anguilla gialla.



Alcuni studi suggeriscono che le anguille siano in grado di orientarsi in relazione a odori, temperatura, gradienti di salinità e maree (Durif *et al.*, 2013; Cresci *et al.*, 2021). È stata inoltre ipotizzata l'esistenza di un senso geomagnetico in grado di mediare l'orientamento su lunga distanza della specie (Walker *et al.*, 2002; Durif *et al.*, 2013), sebbene ad oggi non vi sia una teoria unificante per spiegare tale capacità.

La presenza dei cavi sottomarini e la correlata emissione di campi elettromagnetici potrebbe dunque potenzialmente influenzare l'orientamento della specie durante la migrazione (Öhman *et al.*, 2007). In accordo con Westerberg (1999) e Westerberg *et al.* (2007), l'anomalia magnetica dovuta alla presenza di cavi sottomarini non sarebbe tuttavia in grado di generare effetti tali da indurre le anguille a ritardare o interrompere la migrazione.

Uno studio condotto da Westerberg *et al.* (2008), ha dimostrato come in presenza di un cavo sottomarino esposto (2 metri al di sopra del fondale)⁴ da 130 kV e a corrente alternata, gli esemplari di anguilla riducono la velocità di nuoto, senza tuttavia evitare il passaggio al di sopra di esso.

Un simile risultato è stato ottenuto da Westerberg *et al.* (2000) in presenza di un cavo elettrico in grado di emettere un campo magnetico di 5 μT fino a 60 metri di distanza: testando la risposta di 25 esemplari di anguilla in presenza di corrente, i ricercatori hanno osservato una leggera deviazione della rotta rispetto al caso di assenza di corrente, senza tuttavia impattare significativamente il passaggio degli individui.

In conclusione, quindi, la presenza di campi elettromagnetici di origine antropogenica sembrerebbe avere effetti piuttosto ridotti anche su questa specie, considerata la più sensibile tra i migratori che frequentano l'area del Progetto, incapaci di interferire in modo significativo sull'orientamento delle anguille durante la migrazione.

4.4 Tartarughe marine

Le tartarughe marine sono note per possedere la capacità di percepire i campi magnetici ma non quegli elettrici. Le tartarughe marine utilizzano i campi magnetici per l'orientamento, la navigazione e la migrazione; sono in grado di utilizzare i campi magnetici terrestri in due modi: per informazioni direzionali ed il mantenimento di una particolare direzione e, in modo più complesso, per valutare la posizione relativa rispetto ad una destinazione geografica specifica (Lohmann *et al.* 1997). L'evidenza della capacità delle tartarughe marine di percepire i campi magnetici deriva sia da studi sperimentali che osservazionali. I metodi sperimentali includono lo spostamento delle tartarughe marine e la manipolazione sensoriale (ad esempio occhiali per bloccare i segnali visivi e forti magneti portati sulle teste delle tartarughe). Più recentemente,

⁴ Con valori di campo magnetico potenzialmente superiori a 7,85 μT .



studi di telemetria satellitare hanno fornito informazioni sui processi di navigazione delle tartarughe marine e hanno permesso di ricostruire le rotte di migrazione (Papi *et al.* 2000). Esistono anche prove anatomiche: la magnetite è stata isolata nella dura materia delle tartarughe verdi (*Chelonia mydas*) (Kirschvink 1983).

Le tartarughe marine giovani e adulte hanno la capacità di migrare tra le loro aree di alimentazione e le spiagge di nidificazione natale, separate anche da centinaia o migliaia di chilometri.

In ogni punto del globo, le linee del campo magnetico si intersecano sulla superficie terrestre con un angolo di inclinazione specifico e prevedibile. Le tartarughe marine possono rilevare sia l'angolo di inclinazione che l'intensità del campo, distinguendo tra campi magnetici provenienti da diverse regioni oceaniche (Lohmann *et al.* 2008b).

Uno studio di dislocamento effettuato al largo della costa sud-est degli Stati Uniti illustra come non solo le tartarughe siano in grado di rilevare l'angolo di inclinazione e l'intensità del campo in diverse regioni oceaniche, ma di come esse siano in grado di modificare la loro direzione al variare di questi parametri (Lohmann *et al.* 2008c). Esperimenti di mascheramento del campo geomagnetico terrestre, eseguiti mediante posizionamento di magneti sul capo degli individui, hanno dimostrato che in presenza dei magneti le tartarughe tendevano a seguire percorsi più lunghi e contorti rispetto alle tartarughe di controllo (prive di magneti) per raggiungere la propria destinazione.

Le risposte comportamentali a campi magnetici si verificano ad intensità comprese tra 0,0047 a 4000 μT per le tartarughe marine comuni (*Caretta caretta*), presenti nell'area del Progetto, e da 29,3 a 200 μT per le tartarughe verdi (*Chelonia mydas*) (Normandeu *et al.*, 2011), non presenti nell'area del Progetto, se non occasionalmente.

Per quanto riguarda i potenziali effetti dei campi magnetici antropogenici, il confronto tra i livelli di sensibilità osservati per le tartarughe marine e i valori riportati in Tabella 1 e Tabella 2 suggerisce che esse possano essere in grado di percepire i campi generati dai cavi sottomarini. Gli effetti dei campi magnetici così prodotti sarebbero più accentuati su individui giovani, data la loro tendenza a frequentare acque basse per l'alimentazione.

4.5 Cetacei

Le informazioni riguardanti la sensibilità dei cetacei ai campi magnetici deriva da studi osservazionali, studi di correlazione ed evidenze anatomiche e comportamentali.

Entro l'ordine Cetacea, sia i membri del sottordine mysticeti (*a.e.* balene, megattere) che quelli del sottordine odontoceti (*a.e.* delfini, capodogli) hanno mostrato correlazioni positive con differenze di campo geomagnetico, rendendo ipotizzabile la capacità di questi organismi di percepire i campi magnetici. A causa della natura di tali studi, il potenziale ruolo confondente di altri fattori non ha potuto essere testato e nessuno studio ha ad oggi determinato con chiarezza il meccanismo alla base della presunta magneto-sensibilità.



L'ipotesi è che i cetacei possano utilizzare il campo magnetico terrestre come riferimento durante migrazioni su larga scala.

Alcuni studi anatomici hanno rivelato la presenza di magnetite (un minerale ferroso con le più intense proprietà magnetiche esistente in natura) nella dura madre di diversi cetacei, tra cui il delfino del pacifico, il tursiope (presente nell'area di studio), la balenottera di Cuvier e la megattera (Zoeger, *et al.* 1981; Bauer *et al.* 1985) e nella lingua e mandibola di focene comuni (Klinowska, 1990). Zoeger, *et al.* (1981).

In merito alle evidenze comportamentali, Kuzhetsov (1999), espose i tursiopi (*Tursiops truncatus*) a campi magnetici permanenti osservandone le reazioni comportamentali (*a.e.* movimento, attività acustica) e fisiologiche (*a.e.* elettrocardiogramma). I risultati mostrarono reazioni ad intensità di campo magnetico di 32, 108 e 168 μT durante rispettivamente il 79, 63 e 53% delle prove, indicando che i tursiopi sono sensibili ai campi magnetici permanenti.

L'attuale letteratura suggerisce che i cetacei possano percepire il campo geomagnetico e utilizzarlo come riferimento durante le migrazioni (Klinowska 1985; Kirschvink 1990; Walker 1992; Hui 1994). Non è chiaro tuttavia se il campo geomagnetico venga utilizzato esclusivamente o in associazione ad altri elementi. Inoltre, non è noto quale componente del campo venga utilizzata né quali effetti possano avere su questi animali le perturbazioni nel campo geomagnetico nelle vicinanze dei cavi elettrici. È ipotizzabile, tuttavia, che i mammiferi marini siano molto sensibili a cambiamenti contenuti dei campi magnetici (Walker *et al.* 2003), reagendo a variazioni locali del campo geomagnetico prodotte da cavi sottomarini. Potenziali impatti sono quindi una deviazione temporanea nel nuoto o una deviazione più lunga nel caso si verifichi durante la migrazione dell'animale (Gill *et al.* 2005).

Non vi è al contrario alcuna evidenza di elettrosensibilità nei mammiferi marini.

Per quanto riguarda i possibili impatti generati da cavi sottomarini, Kirschvink (1990) ha postulato che diverse specie di cetacei, incluso il tursiope abbiano una soglia di rilevamento dei campi magnetici pari a circa lo 0,1% del campo magnetico terrestre, o 0,05 μT . I modelli indicano che cavi a corrente alternata sepolti a circa un metro sotto al sedimento emetterebbero campi a intensità superiore a tale soglia fino a 20 m sopra il cavo e 20 m lungo il fondo marino. Va tuttavia notato che data la natura variabile dei campi generati da cavi è anche possibile che essi non vengano percepiti dagli animali. Ad ogni modo, questa ipotesi non trova ad oggi conferma in test sperimentali.



5. CARATTERIZZAZIONE DELLA FAUNA MARINA NELL'AREA DI PROGETTO

I dati relativi alla componente faunistica marina nell'Area di Sito (identificata dall'impronta dei parchi eolici, dalla superficie interessata dal cavidotto e da un buffer attorno a essi) sono stati reperiti sia mediante l'analisi della letteratura esistente sia mediante le campagne di pesca scientifica a strascico scientifica condotte nel giugno 2022 e nel settembre 2023.

Per la componente bentonica (*i.e.* il complesso degli organismi animali e vegetali che vivono a stretto contatto col fondale marino o che si trovano fissati ad un substrato solido), sono riassunti di seguito i risultati dei monitoraggi del macrozoobenthos condotti tra il 2014 e il 2018 da Arpae (ARPAE 2017, 2019, 2020). I campionamenti sono stati eseguiti sul substrato a biocenosi SFBC (Sabbie Fini Ben Calibrate), compreso entro la fascia di 1,0-1,5 km dalla costa, e su quello a biocenosi VTC (Fanghi Terrigeni Costieri) posto a circa 3 km dalla costa.

Per entrambe le biocenosi gli **anellidi** più frequenti sono stati *Nephtys hombergii*, *Owenia fusiformis*, *Melinna palmata*, *Diopatra neapolitana*, *Magelona johnstoni*, *Micronephthys longicornis* e *Aricidea (Acmira) assimilis*.

Tra i **crostacei** il *Pariambus typicus* è risultato il più abbondante sia nella comunità delle SFBC che nella comunità dei VTC negli anni 2014, 2017 e 2018 e nel biennio 2015-2016 nelle comunità dei VTC, mentre nelle comunità delle SFBC la specie più abbondante è risultata essere *Apseudopsis elisae*. Segnalata è inoltre la presenza delle specie *Nephrops norvegicus* e *Squilla mantis* (quest'ultima rinvenuta anche durante la campagna di pesca a strascico).

Tra i **molluschi** la comunità dei filtratori (Bivalvia) è risultata maggiore sia per numero di specie che per abbondanza di individui rispetto alla comunità dei Gasteropoda. Tra le specie maggiormente rappresentate, il bivale *Corbula gibba* e le specie *Spisula subtruncata* e *Chamelea gallina*.

Abbondanti sono risultati anche gli **echinodermi**, con le specie *Amphiura chiajei*, *Amphiura filiformis*, *Amphipholis squamata*, *Paraleptopentacta tergestina*, *Paraleptopentacta elongata*, *Echinocardium cordatum*, *Ophiura albida*, *Ophiura grubei* e *Ophiura ophiura*.

La comunità di **cnidari**, indine, era composta principalmente da esemplari di *Calliactis parasitica* adesi a conchiglie vuote di bivalvi e gasteropodi.

I dati primari ottenuti mediante analisi del benthos in 44 stazioni posizionate nell'area dei parchi e lungo il cavidotto fino al punto di atterraggio costiero hanno indicato la presenza complessiva di 211 taxa. L'elenco include numerose specie opportuniste, altamente tolleranti a disturbi e/o tipiche di fondali instabili caratterizzati da elevato tasso di sedimentazione, arricchimento di sostanza organica e condizioni anossiche.

La sola specie protetta risulta la spugna *Axinella polypoides*, presente su un relitto nella zona del parco eolico Romagna 2. Si segnala anche la presenza del corallo solitario *Caryophyllia smithii* (Appendice II CITES), trovato al di sopra di gusci di molluschi morti nell'ambito delle campagne di pesca. Tuttavia, non sono disponibili in



letteratura informazioni disponibili alla sensibilità a campi elettromagnetici specifici per le suddette due specie protette. Tuttavia, considerando che, sulla base della letteratura disponibile, le specie di invertebrati elettrosensibili finora identificate mostrano generalmente soglie di sensibilità maggiori rispetto a quelle generate da cavi sottomarini, è presumibile che le due specie protette presenti e anche gli altri invertebrati non siano influenzati dalla presenza di tali campi.

Riguardo le **specie demersali** (i.e. specie attivamente natanti che si trattengono nei pressi del fondale) e **pelagiche** (i.e. specie che per tutta la vita o per un periodo continuo di essa vivono indipendenti dal fondo marino) sono elencate nella tabella seguente quelle rinvenute nell'ambito delle campagne MEDITS (MEDiterranean International Trawl Survey) eseguite tra il 1996 e il 2014 in prossimità dell'area di Progetto e quelle segnalate dalla letteratura scientifica come presenti nell'area (Bonanomi et al., 2018). Nella stessa tabella si riporta inoltre il confronto con le specie rinvenute durante le campagne di pesca a strascico condotte nel giugno e nel settembre 2022 nell'area dei campi eolici e nel corso delle altre campagne di osservazione condotte nell'ambito della raccolta dati primari per il progetto AGNES su cetacei e tartarughe marine.

Tabella 3: Specie indicate come presenti nell'Area di Sito in letteratura e specie rinvenute durante la campagna di pesca a strascico.

Gruppo	Specie la cui presenza è segnalata in letteratura	Risultati delle campagne di pesca a strascico e/o altre campagne di osservazione condotte
Molluschi	Calamaro (<i>Loligo vulgaris</i>).	✓
	Moscardino (<i>Eledone moschata</i>).	✓
	Totano (<i>Illex coindetii</i>).	✗
	Seppia (<i>Sepia officinalis</i>).	✓
Crostacei	Pannocchia (<i>Squilla mantis</i>).	✓
	Scampo (<i>Nephrops norvegicus</i>).	✗
Osteitti, specie demersali	Merlano (<i>Merlangius merlangus</i>).	✓
	Triglia di fango (<i>Mullus barbatus</i>).	✓
	Sogliola (<i>Solea solea</i>).	✓
	Nasello (<i>Merluccius merluccius</i>).	✓
	Pagello fragolino (<i>Pagellus erythrinus</i>).	✓



Gruppo	Specie la cui presenza è segnalata in letteratura	Risultati delle campagne di pesca a strascico e/o altre campagne di osservazione condotte
Osteitti, specie pelagiche	Acciuga (<i>Engraulis encrasicolus</i>).	✓
	Sardina (<i>Sardina pilchardus</i>)	✓
	Sugarello (<i>Trachurus trachurus</i>)	✓
	Spratto (<i>Sprattus sprattus</i>)	✓
Elasmobranchi	Spinarolo (<i>Squalus acanthias</i>)	✗
	Palombo (<i>Mustelus mustelus</i>)	✓
	Trigone viola (<i>Pteroplatytrygon violacea</i>)	✓
	Aquila di mare (<i>Myliobatis aquila</i>)	✓ ⁵
Mammiferi marini	Tursiope (<i>Tursiops truncatus</i>)	✓
	Delfino comune (<i>Delphinus delphis</i>)	✗
	Grampo (<i>Grampus griseus</i>)	✗
	Stenella (<i>Stenella coeruleoalba</i>)	✗
	Balenottera comune (<i>Balenoptera physalus</i>)	✗
Tartarughe marine	Tartaruga comune (<i>Caretta caretta</i>)	✓
	Tartaruga verde (<i>Chelonia mydas</i>)	✗
	Tartaruga liuto (<i>Dermochelys coriacea</i>)	✗

⁵ Osservazione incerta.



6. IMPATTI POTENZIALI E MISURE DI MITIGAZIONE

In base alle valutazioni condotte nel capitolo 3.2 e alle caratteristiche dei cavi del Progetto riportate nel capitolo 3.3 (e in particolare l'interramento a -1,5 m e -1 m previsto rispettivamente per i cavi di export ed i cavi di connessione tra gli aerogeneratori) è ipotizzabile che l'intensità massima del campo elettromagnetico generato sul fondale marino sovrastante la trincea possa raggiungere valori circa pari 7,85 μT . Tali valori decremteranno rapidamente allontanandosi orizzontalmente sul fondo o verso l'alto nella colonna d'acqua (circa 0,35 μT alla distanza di 5 m dal fondo sulla verticale del cavo-trincea; 1,49 μT sul sedimento a 4 m dalla verticale dal cavo e 0,29 μT nella colonna d'acqua sovrastante a 5 m dal fondo).

Relativamente agli **invertebrati** presenti nell'Area di Progetto, è possibile ipotizzare un impatto dovuto alla componente magnetica del campo; mentre non dovrebbero esserci impatti potenziali riconducibili alla presenza degli stimoli elettrici, non essendo tali organismi in grado di rilevarli (almeno sulla base delle attuali conoscenze). In merito ai potenziali impatti del campo magnetico, in base alla letteratura, l'intensità necessaria a stimolare una risposta da parte dei cristalli di magnetite è circa pari a 5 μT . Per tale ragione, possibili impatti potrebbero essere ipotizzati solo a condizione che gli animali si trovino a stretto contatto col fondo e sulla verticale del cavo (a 0 m di distanza verticale e orizzontale dal cavo). Nessun impatto sarebbe invece atteso per invertebrati pelagici, tra cui copepodi, stadi medusoidi, larve di decapodi, anfipodi iperidi e cladoceri che occupano la colonna d'acqua.

Gli **elasmobranchi**, presenti nell'Area di Progetto con almeno 4 specie (v.

Tabella 3) sarebbero in grado di percepire campi elettrici con frequenza compresa tra 1 e 10 Hz. Non sarebbero dunque in grado di percepire campi emessi a frequenza di 50 Hz, come quelli dei caviodotti del Progetto AGNES. L'unica eccezione è costituita dalle specie appartenenti all'Ordine Torpediniformes (come la specie *Torpedo marmorata*, presente in Adriatico settentrionale) in grado di percepire stimoli elettrici a frequenze anche superiori a 50 Hz. Relativamente alla capacità di percezione della componente magnetica, sebbene la letteratura sia molto esigua, si ipotizza che gli elasmobranchi potrebbero essere in grado di percepire il campo magnetico terrestre ($\sim 50 \mu\text{T}$). L'intensità di campo magnetico generato dai cavi del Progetto sarebbe invece verosimilmente inferiore alla soglia di percezione, pertanto, sulla base delle attuali conoscenze non dovrebbero esserci impatti significativi sugli elasmobranchi dovuti al campo magnetico generato dai cavi; mentre potrebbe esserci un potenziale impatto sulla sola specie *Torpedo marmorata* in grado di rilevare il campo elettrico.

I **pesci non elasmobranchi** sarebbero in grado di percepire stimoli elettrici generati in un intervallo di frequenza compreso tra 0,1 – 25 Hz. Come nel caso dei pesci elasmobranchi è pertanto improbabile che questi animali possano essere impattati dall'emissione di campi elettrici. Per quanto concerne la sensibilità ai campi magnetici, sebbene buona parte degli studi riguardi manipolazioni del campo magnetico terrestre ($\sim 50 \mu\text{T}$, superiore, dunque, a quanto atteso nel caso del Progetto) alcuni autori ipotizzano la capacità per i pesci di percepire anche campi elettromagnetici di intensità inferiore. Qualora tale ipotesi fosse confermata,



considerato che si ipotizza che i campi dovrebbero avere intensità almeno pari a 5 μT per scatenare una reazione a livello dei cristalli di magnetite nei pesci, è verosimile che eventuali impatti si verificherebbero solo in stretta vicinanza del fondo marino e solo sulla verticale del cavidotto.

Per quanto riguarda le **tartarughe marine** e in particolare la specie *Caretta caretta* (presente nell'Area del Progetto), l'emissione di campi elettromagnetici dovuti alla presenza dei cavi sottomarini potrebbe potenzialmente avere effetti sul comportamento degli animali anche a diversi metri dal cavo elettrico, dato l'ampio range di intensità di campo magnetico percepite (da 0,0047 a 4000 μT). Al contrario, sulla base della letteratura, nessun effetto sarebbe atteso per esemplari di tartaruga verde (*Chelonia mydas*), in grado di percepire campi magnetici ad intensità di molto superiori a quanto ipotizzato nel caso del Progetto (29,3 a 200 μT). Il campo elettrico non avrebbe quindi alcun effetto su quest'ultima specie di tartarughe marine.

I **mammiferi marini** non sembrano sensibili ai campi elettrici, mentre è ipotizzabile che siano sensibili a cambiamenti contenuti dei campi magnetici, reagendo quindi a variazioni locali del campo geomagnetico prodotte da cavi sottomarini. Potenziali impatti potrebbero quindi essere una deviazione temporanea nel nuoto o una deviazione più lunga nel caso di migrazioni. Secondo alcuni autori, c'è l'ipotesi, tuttavia non confermata, che la soglia di percezione di diverse specie di cetacei (compreso il tursiopo, presente nell'area del progetto) sia pari a 0,05 μT . Qualora tale ipotesi fosse confermata, è possibile che i tursiopi possano percepire il campo magnetico dei cavidotti già a partire da 10 metri di distanza verticale e orizzontale della trincea. Non esistono tuttavia evidenze sperimentali di tale sensibilità.

I cavidotti del Progetto AGNES sono stati disegnati secondo le seguenti caratteristiche che concorreranno a ridurre l'impatto delle emissioni elettromagnetiche sull'ambiente:

- Saranno a corrente alternata (AC). I circuiti AC generano campi magnetici inferiori rispetto a quelli a corrente continua (DC) a parità di voltaggio.
- Saranno realizzati con cavi trifase (a corrente alternata). I cavi trifase generano campi magnetici inferiori rispetto a cavi monofase. Infatti, la generazione di campi magnetici può essere ridotta al minimo posizionando i cavi a stretto contatto gli uni con gli altri (cosa che accade nei cavi trifase), consentendo da un lato ai vettori di campo di ogni cavo di annullarsi a vicenda, dall'altro di attenuare più rapidamente l'intensità del campo all'aumentare della distanza dal cavo.
- Saranno ricoperti con guaine ed armatura in grado di garantire una riduzione del campo magnetico.
- Saranno interrati sotto 1 m e in alcune parti anche 1,5 m di sedimento. La distanza dai cavi rappresenta un fattore fondamentale nella mitigazione degli effetti della generazione di campi magnetici antropogenici. Il seppellimento dei cavi, aumentando la distanza dallo strato abitato del fondo marino (tipicamente i primi 20 cm) e dalla sovrastante colonna d'acqua può dunque ridurre l'intensità del campo magnetico generato.



Considerate le mitigazioni già adottate in fase di Progetto, di cui sopra, è verosimile ipotizzare che i campi elettromagnetici prodotti dai cavidotti del Progetto siano anche inferiori ai valori ipotizzati nella presente Relazione (nell'ambito della quale è stato applicato il principio di precauzione). Quindi gli impatti potenziali sugli invertebrati bentonici presenti nel sedimento che ricopre la trincea, su alcune specie di pesci (potenzialmente sensibili secondo alcuni autori) qualora si avvicinassero al fondo marino sulla verticale della trincea, sulla *Torpedo marmorata* e sulla tartaruga comune e sul tursiope potrebbero essere irrilevanti o assenti.



7. CONCLUSIONI

Le attuali conoscenze relative ai potenziali impatti di campi elettromagnetici generati dalla presenza di cavi sottomarini sono piuttosto ridotte e frammentarie, essendo disponibili per un pool contenuto di specie e derivando molto spesso da soli studi osservazionali. Sulla base della letteratura disponibile, è tuttavia possibile trarre alcune conclusioni generali:

- Le informazioni attualmente disponibili consentono soltanto un livello preliminare di valutazione dell'impatto (Capitolo 6).
- I modelli discussi nella sezione iniziale del presente documento indicano che i campi elettromagnetici emessi da cavi sottomarini sono limitati spazialmente (sia in senso verticale che orizzontale).
- Le specie elettrosensibili, tra cui elasmobranchi, teleostei e crostacei decapodi potrebbero percepire i campi elettrici generati da cavi sommersi, indipendentemente dalla natura della corrente (continua o alternata). Gli effetti potrebbero tradursi in un temporaneo allontanamento, cambio di rotta o disorientamento dell'animale.
- Le specie magnetorecettive, come tartarughe marine (*Caretta caretta* presente nell'area), alcuni mammiferi marini (*Tursiops truncatus* presente nell'area) e alcuni crostacei potrebbero avvertire la componente magnetica del campo. La capacità di percezione di campi antropogenici sembrerebbe maggiormente sviluppata nel caso di campi generati da sistemi a corrente continua (e il progetto prevede campi a corrente alternata, quindi meno impattanti). Ciò dipenderebbe in parte dalla maggior intensità dei campi generati e in parte dalle caratteristiche dei sistemi deputati alla percezione dei campi (ad esempio, i cristalli di magnetite non sembrerebbero essere in grado di rispondere alla rapida variazione dei campi generati da correnti alternate al di sotto di certe intensità di campo magnetico).
- Le specie bentoniche e demersali (come merlano, sogliola e nasello, presenti nell'area) date le abitudini necto-bentoniche, potrebbero essere maggiormente suscettibili all'azione dei campi elettromagnetici rispetto a quelle pelagiche, considerata la diminuzione che l'intensità del campo subisce all'aumentare della distanza dal cavo sommerso.
- Tutte le considerazioni fatte in merito ai potenziali impatti sono state definite applicando un rigoroso approccio di precauzione, necessario considerata la ridotta conoscenza disponibile in letteratura sul tema delle interazioni dei campi elettromagnetici con la fauna marina.
- L'insieme delle mitigazioni già incluse nella progettazione dei cavidotti (cavi trifase a corrente alternata, guaine ed armature di ricoprimento e seppellimento in trincea per l'intero percorso degli



elettrodotti) dovrebbe essere in grado di ridurre e rendere accettabili i potenziali impatti generati dai campi elettromagnetici in ambiente marino.



Bibliografia

- Adair, R. K. (1994). Constraints of thermal noise on the effects of weak 60-Hz magnetic fields acting on biological magnetite. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 91:2925-2929.
- Akoev, G.N., O.B. Ilyinsky, and P.M. Zadan. (1976). Responses of electroreceptors (ampullae of Lorenzini) of skates to electric and magnetic fields. *Journal of Comparative Physiology A* 106(2): 127-136.
- Arendse, M. C., & Kruyswijk, C. J. (1981). Orientation of *Talitrus saltator* to magnetic fields. *Netherlands Journal of Sea Research*, 15(1), 23-32.
- ARPAE, 2017. Monitoraggio delle acque marino costiere e classificazione dello stato di qualità. Rapporto triennale 2014-2016.
- ARPAE, 2019. Qualità ambientale delle acque marine in Emilia Romagna. Rapporto annuale 2017.
- ARPAE, 2020. Qualità ambientale delle acque marine in Emilia Romagna. Rapporto annuale 2018.
- Barnwell, F. H., & Brown, F. A. (1964). Responses of planarians and snails. In *Biological effects of magnetic fields* (pp. 263-278). Springer, Boston, MA.
- Bauer, G.B., M. Fuller, A. Perry, J.R. Dunn, J. Zoeger. 1985 Magnetoreception and biomineralization of magnetite in cetaceans *In Magnetic Biomineralization and Magnetoreception in Living Organisms* (J.L. Kirschvink, D.S. Jones, and B.J. MacFadden, eds.). Plenum Press. New York, NY. 487-507 pp.
- Bochert, R., & Zettler, M. L. (2006). Effect of electromagnetic fields on marine organisms. In *Offshore Wind Energy* (pp. 223-234). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Bodznick, D., Montgomery, J., & Tricas, T. C. (2003). Electroreception: extracting behaviorally important signals from noise. In *Sensory processing in aquatic environments* (pp. 389-403). Springer, New York, NY.
- Bonanomi, S., Pulcinella, J., Fortuna, C. M., Moro, F., & Sala, A. (2018). Elasmobranch bycatch in the Italian Adriatic pelagic trawl fishery. *PloS one*, 13(1), e0191647.
- Cameron, I. L., W. E. Hardman, W. D. Winters, S. Zimmerman, and A. M. Zimmerman. 1993. Environmental magnetic-fields - influences on early embryogenesis. *Journal of Cellular Biochemistry* 51:417-425.
- Christoffersen, M., Svendsen, J. C., Kuhn, J. A., Nielsen, A., Martjanova, A., & Støttrup, J. G. (2018). Benthic habitat selection in juvenile European eel *Anguilla anguilla*: implications for coastal habitat management and restoration. *Journal of Fish Biology*, 93(5), 996-999.
- CMACS, J. (2003). *Cowrie Phase 1 Report. A Baseline Assessment of Electromagnetic Fields Generated by Offshore Windfarm Cables*. Centre for Marine and Coastal Studies (CMACS). COWRIE Report EMF-01-2002 66.
- Collaborative Offshore Wind Research into the Environment (COWRIE), Ltd, UK. 128 pp.
-



- Feynman, R. P., Leighton, R., & Sands, M. (1970). Feynman Lectures on Physics, Band II.
- Gill, A. B. and A. A. Kimber. (2005). The potential for cooperative management of elasmobranchs and offshore renewable energy development in UK waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 85:1075-1081.152
- Gill, A. B. and H. Taylor. (2001). The potential effects of electromagnetic fields generated by cabling between offshore wind turbines upon elasmobranch fishes. Countryside Council for Wales. *Contract Science Report* 488. 60 pp.
- Gill, A. B., Gloyne-Philips, I., Kimber, J., & Sigray, P. (2014). Marine renewable energy, electromagnetic (EM) fields and EM-sensitive animals. In *Marine renewable energy technology and environmental interactions* (pp. 61-79). Springer, Dordrecht.
- Gill, A. B., I. Gloyne-Phillips, K. J. Neal, and J. A. Kimber. (2005). The potential effects of electromagnetic fields generated by sub-sea power cables associated with offshore wind farm developments on electrically and magnetically sensitive marine organisms - a review.
- Gill, A. B., Y. Huang, I. Gloyne-Phillips, J. Metcalfe, V. Quayle, J. Spencer, and V. Wearmouth. (2009). COWRIE 2.0 Electromagnetic Fields (EMF) Phase 2: EMF-sensitive fish response to EM emissions from sub-sea electricity cables of the type used by the offshore renewable energy industry. Cowrie Ltd. Cowrie-EMF-1-06. 128 pp.
- Gill, A.B. and M. Bartlett. (2009). Literature review on the potential effects of electromagnetic fields and subsea noise from marine renewable energy developments on Atlantic salmon, sea trout and European eel. Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 401.
- Gribbin, J. (1998). *Q is for Quantum: Particle Physics from A to Z*. London: Weidenfeld & Nicolson (p. 138). ISBN 0-297-81752-3.
- Kalmijn, A. J. (1982). Electric and magnetic field detection in elasmobranch fishes. *Science*, 218(4575), 916-918.
- Karlsson, L. (1985). Behavioural responses of European silver eels (*Anguilla anguilla*) to the geomagnetic field. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 39(1), 71-81.
- Kirschvink, J. L. (1983). Biomagnetic geomagnetism. *Reviews of Geophysics* 21:672-675.
- Kirschvink, J. L. (1992). Constraints on biological effects of weak extremely-low-frequency electromagnetic fields - comment. *Physical Review A* 46:2178-2184.
- Kirschvink, J. L. (1997). Magnetoreception: homing in on vertebrates. *Nature* 390:339-340.
- Kirschvink, J. L. and H. A. Lowenstam. (1979). Mineralization and magnetization of chiton teeth - paleomagnetic, sedimentologic, and biologic implications of organic magnetite. *Earth and Planetary Science Letters* 44:193-204.
-



- Kirschvink, J. L. and J. L. Gould. (1981). Biogenic magnetite as a basis for magnetic-field detection in animals. *Biosystems* 13:181-201.
- Kirschvink, J. L., M. M. Walker, and C. E. Diebel. 2001. Magnetite-based magnetoreception. *Current Opinion in Neurobiology* 11:462-467. Steullet, P., D. H. Edwards, and C. D. Derby. 2007. An electric sense in crayfish? *Biological Bulletin* 213:16-20.
- Kirschvink, J.L. (1990). Geomagnetic sensitivity in cetaceans: an update with live stranding records in the United States, In *Sensory Abilities of Cetaceans: Laboratory and Field Evidence* (J.A. Thomas and R.A. Kastelein, eds.) *Plenum Press*, New York, NY. 639-649 pp.
- Kirschvink, J.L. and M.M. Walker. (1985). Particle size considerations for magnetite based magnetoreceptors, In: Kirschvink JL, Jones DS and McFadden BS (eds.), *Magnetite Biomineralization and Magnetoreception in Organisms: A New Biomagnetism*. *New York: Plenum Press*, 243-254.
- Kirschvink, J.L., A.E. Dizon, J.A. Westphal. (1986). Evidence from Strandings from Geomagnetic Sensitivity in Cetaceans. *Journal of Experimental Biology* 120: 1-24.
- Klinowska, M. (1985). Cetacean live stranding sites related to geomagnetic topography. *Aquatic Mammals* (1):27-32.
- Klinowska, M. (1990). Geomagnetic orientation in cetaceans: behavioral evidence, In *Sensory Abilities of Cetaceans: Laboratory and Field Evidence*
- Levin, M. and S. G. Ernst. (1997). Applied DC magnetic fields cause alterations in the time of cell divisions and developmental abnormalities in early sea urchin embryos. 18:8.
- Lohmann, K. J. (1985). Geomagnetic field detection by the western Atlantic spiny lobster, *Panulirus argus*. *Marine & Freshwater Behaviour & Phy*, 12(1), 1-7.
- Lohmann, K. J. and A. O. D. Willows. (1987). Lunar-modulated geomagnetic orientation by a marine mollusk. *Science* 235:331-334.
- Lohmann, K. J., & Lohmann, C. M. (1996). Detection of magnetic field intensity by sea turtles. *Nature*, 380(6569), 59-61.
- Lohmann, K. J., & Willows, A. D. (1987). Lunar-modulated geomagnetic orientation by a marine mollusk. *Science*, 235(4786), 331-334.
- Lohmann, K. J., A. O. D. Willows, and R. B. Pinter. (1991). An identifiable molluscan neuron responds to changes in earth-strength magnetic-fields. *Journal of Experimental Biology* 161:1-24.
- Lohmann, K. J., B. E. Witherington, C. M. F. Lohmann, and M. Salmon. (1997). Orientation, navigation, and natal beach homing in sea turtles. Pages 107-135 in P. Lutz and J. Musick, editors. *The Biology of Sea Turtles*. CRC Press, Boca Raton.
-



- Lohmann, K. J., C. M. F. Lohmann, and C. S. Endres. (2008c). The sensory ecology of ocean navigation. *Journal of Experimental Biology* 211:1719-1728.
- Lohmann, K. J., C. M. F. Lohmann, and N. F. Putman. (2007). Magnetic maps in animals: nature's GPS. *Journal of Experimental Biology* 210:3697-3705.
- Lohmann, K. J., Cain, S. D., Dodge, S. A., & Lohmann, C. M. (2001). Regional magnetic fields as navigational markers for sea turtles. *Science*, 294(5541), 364-366.
- Lohmann, K. J., Ernst, D. A., Derby, C. D., & Thiel, M. (2014). The geomagnetic sense of crustaceans and its use in orientation and navigation. *Crustacean Nervous Systems and Control of Behavior*, 321-336.
- Lohmann, K. J., Hester, J. T., & Lohmann, C. M. F. (1999). Long-distance navigation in sea turtles. *Ethology Ecology & Evolution*, 11(1), 1-23.
- Lohmann, K. J., N. D. Pentcheff, G. A. Nevitt, G. D. Stetten, R. K. Zimmerfaust, H. E. Jarrard, and L. C. Boles. (1995). Magnetic orientation of spiny lobsters in the ocean - experiments with undersea coil systems. *Journal of Experimental Biology* 198:2041-2048.
- Lohmann, K. J., N. F. Putman, and C. M. F. Lohmann. (2008a). Geomagnetic imprinting: A unifying hypothesis of long-distance natal homing in salmon and sea turtles. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105:19096-19101.
- Lohmann, K. J., P. Luschi, and G. C. Hays. (2008b). Goal navigation and island-finding in sea turtles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 356:83-95.
- Luschi, P., S. Akesson, A.C. Broderick, F. Glen, B.J. Godley, F. Papi, and G.C. Hays. 2001. Testing the navigational abilities of ocean migrants: displacement experiments on green sea turtles (*Chelonia mydas*). *Behavioral Ecology and Sociobiology* 50: 528-534.
- Luschi, P., S. Benhamou, C. Girard, S. Ciccione, D. Roos, J. Sudre, and S. Benvenuti. (2007). Marine turtles use geomagnetic cues during open-sea homing. *Current Biology* 17:126-133.
- Malagoli, D., F. Gobba, and E. Ottaviani. (2003). Effects of 50-Hz magnetic fields on the signaling pathways of fMLP-induced shape changes in invertebrate immunocytes: the activation of an alternative "stress pathway". *Biochimica et biophysica acta* 1620:5.
- Malagoli, D., F. Gobba, and E. Ottaviani. (2003). Effects of 50-Hz magnetic fields on the signaling pathways of fMLP-induced shape changes in invertebrate immunocytes: the activation of an alternative "stress pathway". *Biochimica et biophysica acta* 1620:5.
- Malagoli, D., M. Lusvardi, F. Gobba, and E. Ottaviani. (2004). 50 Hz magnetic fields activate mussel immunocyte p38 MAP kinase and induce HSP70 and and 90. *Comparative biochemistry and physiology. Toxicology & pharmacology* : CBP 137:4.
-



- Meloni, A., Lanzerotti, L. J., & Gregori, G. P. (1983). Induction of currents in long submarine cables by natural phenomena. *Reviews of Geophysics*, 21(4), 795-803.
- Miller, D. J. and R. N. Lea. 1972. Guide to the coastal marine fishes of California. Calif. Dept. of Fish and Game Fish Bull.157.
- Montgomery, J. C. 1984a. Frequency-response characteristics of primary and secondary neurons in the electrosensory system of the thornback ray. *Comparative Biochemistry and Physiology* 79:189-195.
- Murray, R. W. (1962). The response of the ampullae of Lorenzini of elasmobranchs to electrical stimulation. *Journal of Experimental Biology*, 39(1), 119-128.
- New, J. G. and T. C. Tricas. 1997. Electroreceptors and Magnetoreceptors: Morphology and Function. Pages 741-758 in N. Sperlakis, editor. Cell Physiology Source Book, 2nd ed. *Academic Press*, San Diego.
- OSPAR Commission. Guidelines on best environmental practice (BEP) in cable laying and operation; 2012.
- Papi, F., P. Luschi, S. Akesson, S. Capogrossi, and G.C. Hays. (2000). Open-sea migration of magnetically disturbed sea turtles. *Journal of Experimental Biology* 203: 3435-3443.162
- Patullo, B. W. and D. L. Macmillan. (2007). Crayfish respond to electrical fields. *Current Biology* 17:R83-R84.
- Piccinetti, C. & Manfredi, C. (2017). Valutazione degli stock demersali adriatici mediante indici puntuali di biomassa in mare. In "Il Mare Adriatico e le sue risorse" a cura di M. Marini, G. Bombace, G. Iacobone. Carlo Saladino Editore: 177-208 p.
- Piccinetti, C., Manfredi, C., Vrgoč, N., Marčeta, B. (2013). Preliminary results of small pelagic and demersal stock in the Northern and Central Adriatic (Medit 2013). Presentazione del Seminario informativo "Le azioni pilota di incremento delle risorse ittiche (WP4.4.)", Marano Lagunare (UD), 9 luglio 2014.
- Ragheb, M. (2009). High Voltage Direct Current for Wind Power. *NPRE 475 Course Notes*.
- Stehmeier, H. (2006). Grid connection of the "Burbo Bank" wind park off Liverpool; Verkabelung des Offshore Windparks "Burbo Bank" vor Liverpool. *bbr. Fachmagazin fuer Brunnen-und Leitungsbau*.
- Taormina, B., Bald, J., Want, A., Thouzeau, G., Lejart, M., Desroy, N., & Carlier, A. (2018). A review of potential impacts of submarine power cables on the marine environment: Knowledge gaps, recommendations and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96, 380-391.
- Taylor, P. B. (1986). Experimental evidence for geomagnetic orientation in juvenile salmon, *Oncorhynchus tshawytscha* Walbaum. *Journal of Fish Biology*, 28(5), 607-623.
- Taylor, P. B. (1986). Experimental-evidence for geomagnetic orientation in juvenile salmon, *Oncorhynchus tshawytscha* Walbaum. *Journal of Fish Biology* 28:607-623.
-



- Tesch, F. W., Wendt, T., & Karlsson, L. (1992). Influence of geomagnetism on the activity and orientation of the eel, *Anguilla anguilla* (L.), as evident from laboratory experiments. *Ecology of Freshwater Fish*, 1(1), 52-60.
- Tricas, T. C. and J. G. New. (1998). Sensitivity and response dynamics of elasmobranch electrosensory primary afferent neurons to near threshold fields. *Journal of Comparative Physiology a-Neuroethology Sensory Neural and Behavioral Physiology* 182:89-101.
- Tricas, T., & Gill, A. B. (2011). Effects of EMFs from Undersea Power Cables on Elasmobranchs and Other Marine Species.
- Tomie, J. P. N., Cairns, D. K., Hobbs, R. S., Desjardins, M., Fletcher, G. L. & Courtenay, S. C. (2017). American eel (*Anguilla rostrata*) substrate selection for daytime refuge and winter thermal sanctuary. *Marine and Freshwater Research* 68, 95–105.
- Ugolini, A. (2006). Equatorial sandhoppers use body scans to detect the earth's magnetic field. *Journal of Comparative Physiology a-Neuroethology Sensory Neural and Behavioral Physiology* 192:45-49.
- Ugolini, A. (2006). Equatorial sandhoppers use body scans to detect the earth's magnetic field. *Journal of Comparative Physiology a-Neuroethology Sensory Neural and Behavioral Physiology* 192:45-49.
- Ugolini, A. and A. Pezzani. (1995). Magnetic compass and learning of the y-axis (sea-land) direction in the marine isopod *Idotea baltica* Basteri. *Animal Behaviour* 50:295-300.
- Ugolini, A. and A. Pezzani. (1995). Magnetic compass and learning of the y-axis (sea-land) direction in the marine isopod *Idotea baltica* Basteri. *Animal Behaviour* 50:295-300.
- UNEP/MAP-RAC/SPA, (2014). Status and Conservation of Fisheries in the Adriatic Sea. By H. Farrugio & Alen Soldo. Draft internal report for the purposes of the Mediterranean Regional Workshop to Facilitate the Description of Ecologically or Biologically Significant Marine Areas, Malaga, Spain, 7-11 April 2014.
- Walker, M. M. (1984). Learned magnetic field discrimination in yellowfin tuna, *Thunnus albacares*. *Journal of Comparative Physiology a-Neuroethology Sensory Neural and Behavioral Physiology* 155:673-679.
- Walker, M. M. (2008). A model for encoding of magnetic field intensity by magnetite-based magnetoreceptor cells. *Journal of Theoretical Biology* 250:85-91.
- Walker, M. M., C. E. Diebel, and J. L. Kirschvink. (2007). Sensory systems neuroscience. Pages 335-374 in T. J. Hara and B. Zielinski, editors. *Sensory systems neuroscience: Fish Physiology*, v. 25. Elsevier Academic Press, Amsterdam, Netherlands; Boston, MA.
- Walker, M. M., C. E. Diebel, C. V. Haugh, P. M. Pankhurst, J. C. Montgomery, and C. R. Green. (1997). Structure and function of the vertebrate magnetic sense. *Nature* 390:371-376.
- Walker, M. M., J. L. Kirschvink, S. B. R. Chang, and A. E. Dizon. (1984). A candidate magnetic sense organ in the yellowfin tuna, *Thunnus albacares*. *Science* 224:751-753.
-



- Walker, M. M., T. P. Quinn, J. L. Kirschvink, and C. Groot. (1988). Production of single-domain magnetite throughout life by sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*. *Journal of Experimental Biology* 140:51-63.
- Walker, M.M., C.E. Diebel, J.L. Kirschvink. (2003). Detection and Use of the Earth's Magnetic Field by Aquatic Vertebrates, In *Sensory Processing in the Aquatic Environment*. SP Collin and N. Justin Marshall, eds. Springer-Verlag. NY. 53-74 pp.
- Walker, M.W., J.L. Kirschvink, G. Ahmed, A.E. Dizon. 1992. Evidence that fin whales respond to the geomagnetic field during migration. *Journal of Experimental Biology*. 171: 67-78.
- Walker, R. and A. Judd. (2010). Strategic Review of Offshore Wind Farm Monitoring Data Associated with FEPA Licence Conditions. *Cefas Environment and Ecosystems Division*.
- Zimmerman, M. A. and J. D. McCleave. (1975). Orientation of elvers of American eels (*Anguilla rostrata*) in weak magnetic and electric fields. *Helgolander Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen* 27:175-189.
- Zoeger, J., J. R. Dunn, and M. Fuller. (1981). Magnetic material in the head of the common pacific dolphin. *Science* 213:892-894.